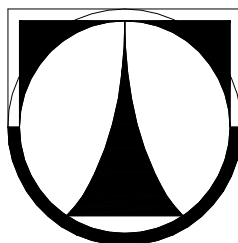


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program M2301 Strojní inženýrství



Studijní obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Zařízení pro manipulaci a chlazení sklářské suroviny

(System for manipulation and cooling of glass semi-products after temper colour process)

KSR –

JOSEF MAREČEK

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. František Novotný, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Ivo Matoušek, PhD.

Rozsah diplomové práce:

Počet stran: 56

Počet tabulek: 8

Počet obrázků: 33

Počet výkresů: 17

Počet příloh: 0

Datum odevzdání: 27. 05. 2011

ZADÁNÍ

TÉMA: **Zařízení pro manipulaci a chlazení sklářské suroviny po procesu nabíhání**

ANOTACE

Předkládaná diplomová práce se zabývá řešením řízeného chlazení sklářských polotovarů po operaci nabíhání barev. Byly navrženy dvě alternativy chladicího zařízení. K realizaci byla vybrána varianta chlazení polotovarů pomocí chladicího boxu. Chladicí zařízení bude instalováno přímo u nabíhací pece ve vazbě na manipulační zařízení pro šetrnou manipulaci polotovarů z nabíhací pece na vstup do chladicího zařízení.

Klíčová slova: chlazení skla, manipulace, barvení skla, chladicí box, skleněné polotovary

THEME: **System for manipulation and cooling of glass semi-products after temper colour process**

ANOTATION

This paper is focused on solving of controlled cooling of glass semi-products after temper colours in the temper colour furnace. There were proposed two alternatives of cooling system. For implementation the proposal of cooling box was chosen. The cooling system will be installed directly to the temper colour furnace. At the same time the cooling system will be integrated with the handling system because of careful manipulation of semi-products from temper colour furnace to entry of cooling system.

Key words: glass annealing, manipulation, glass staining, cooling box, glass semiproduct

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Děkuji Doc. Ing. Františku Novotnému, CSc., vedoucímu své diplomové práce za odborný dohled, trpělivost a cenné připomínky při řešení práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Ivo Matouškovi, PhD., za vstřícný a obětavý přístup.

Děkuji též Vladimíru Libenskému z úseku rozvoje společnosti Preciosa a.s., za poskytnuté informace, materiály a cenné rady a náměty.

Obsah

Úvod.....	10
1 Analýza současného stavu a přiblížení technologie barvení	
a chlazení skla.....	11
1.1 Barvení skla koloidními barvivy.....	11
1.1.1 Nabíhací pec.....	13
1.2 Chlazení skla.....	14
1.2.1 Současný způsob chlazení.....	14
1.2.2 Použité nádoby.....	16
1.2.3 Chladicí postup.....	16
1.2.4 Výpočet chladicího postupu.....	17
1.2.5 Chladicí křivky.....	21
1.2.6 Volné chladnutí.....	23
1.3 Shrnutí technických podmínek a požadavků na chladicí zařízení.....	24
1.3.1 Technické podmínky.....	24
1.3.2 Požadavky na chladicí zařízení.....	25
2 Návrhy řešení.....	27
2.1 Varianta 1 – Chladicí box.....	27
2.1.1 Popis zařízení.....	28
2.1.2 Plnění boxu.....	29
2.1.3 Shrnutí technických parametrů.....	34
2.1.4 Výhody a nevýhody.....	34
2.2 Varianta 2 – Pásová chladicí pec nad nabíhací pecí.....	35
2.2.1 Popis zařízení.....	36
2.2.2 Vstupní vertikální dopravník.....	36
2.2.3 Chladicí pec.....	37
2.2.4 Výstupní vertikální dopravník.....	40

2.2.5 Výhody nevýhody.....	42
2.3 Výběr varianty.....	42
3 Konstrukční řešení vybrané varianty.....	43
3.1 Popis konstrukce.....	43
3.2 Volba actuátoru.....	45
3.3 Návrh izolace chladicího boxu.....	48
3.4 Výpočet množství tepla potřebného k ohřátí vzduchu uvnitř boxu.....	51
3.5 Volba topných modulů.....	51
3.6 Regulace teploty.....	52
4 Zhodnocení přínosu a využitelnosti navrženého řešení.....	54
4.1 Přínos řešení.....	54
4.2 Využitelnost navrženého řešení.....	54
Závěr.....	55
SEZNAM LITERATURY.....	56

SEZNAM SYMBOLŮ A JEDNOTEK

a	směrodatný rozměr výrobku	[cm]
C	chladicí modul skloviny	[nm·s·cm ⁻³ ·K ⁻¹]
c	měrné teplo vzduchu	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
d_v	průměr polotovaru	[mm]
D_v	výpočtový průměr polotovaru	[mm]
F	síla	[N]
F_s	setrvačná síla	[N]
h_1	rychlost ochlazování v chladicí oblasti	[°C·min ⁻¹]
h_2	rychlost vyhřívání na chladicí teplotu	[°C·min ⁻¹]
J_A	moment setrvačnosti motoru	[kg·m ²]
J_L	moment setrvačnosti zátěže	[kg·m ²]
J_S	moment setrvačnosti spojky	[kg·m ²]
J_V	moment setrvačnosti vřetene	[kg·m ²]
l	dopravní výška	[mm]
m	hmotnost	[g],[kg]
m_{vz}	hmotnost vyduchu	[kg]
$M_{x,y,z_{max}}$	maximální přípustné dynamické momenty	[Nm]
m_z	hmotnost zátěže	[kg]
n	jmenovité otáčky motoru	[min ⁻¹]
N	množství výrobků v sítu	[ks]
N_{hto}	teoretický počet výlisků na pás	[ks]
P	příkon	[W]
Q	množství tepla	[kJ]
\dot{Q}	tepelný tok	[W]
\dot{q}	tepelný tok na m ²	[W·m ⁻²]
Q_n	výrobnost	[ks/hod]
S	plošný obsah	[mm ²]
t	teplota stěn	[°C]
t_g	transformační teplota	[°C]
t_d	dolní hranice chladicí oblasti	[°C]
t_{ch}	chladicí teplota	[°C]
t_m	čas manipulace	[s]

t_{vz}	teplota vzduchu	[°C]
V	objem izolované atmosféry	[m ³]
v	rychlost	[m·s ⁻¹]
v_z	rychlost zátěže	[m·s ⁻¹]
X	přípustný dráhový rozdíl	[nm·cm ⁻¹]
α	součinitel prostupu tepla	[W·m ² ·K ⁻¹]
δ_o	tloušťka ocelového plechu	[mm]
δ_s	tloušťka sibalové izolace	[mm]
δ_{vz}	tloušťka vzduchové mezery	[mm]
η	dynamická viskozita	[dPa·s]
λ_o	součinitel tepelné vodivosti oceli	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
λ_s	součinitel tepelné vodivosti sibalů	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
λ_{vz}	součinitel tepelné vodivosti vzduchu	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
$\xi(x)$	funkce vyjadřující vliv tvaru a velikosti výrobku	[-]
ρ_{vz}	měrná hmotnost vzduchu	[kg·m ⁻³]
ω_m	úhlová rychlost motoru	[rad·s ⁻¹]

Úvod

Ve firmě Preciosa a.s. se vyrábí skleněné polotovary pro výrobu perlí. Po vylisování suroviny z roztavené skloviny následuje operace odbrokování. Potom jde surovina určená k nabíhání do nabíhací pece. Po nabíhání polotovary vypadávají z nabíhací pece do plechových tepelně izolovaných nádob a v těchto nádobách, samospádem chladnou. I přesto, že díky konstrukci nádob, ve kterých surovina chladne pomaleji než volně na vzduchu, polotovary praskají a to buď už při samotném ochlazování anebo vlivem vnitřního pnutí při následných brusičských operacích. Z tohoto důvodu jsou polotovary větších rozměrů složitě dopravovány k chladicí peci, která je umístěna v jiné části závodu.

Cílem Diplomové práce je navrhnout malé chladicí zařízení, které by bylo umístěné přímo u nabíhací pece a dále navrhnout způsob šetrné automatické manipulace s polotovary mezi výstupem z nabíhací pece a navrženým chladicím zařízením.

Diplomová práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola je věnována problematice barvení skla koloidními barvivy, analýze současného stavu, vysvětlení současného způsobu chlazení a na konec se zabývá stanovením základních technických podmínek řešení. Druhá kapitola je zaměřena na alternativní návrhy koncepčního řešení. Třetí kapitola se zabývá podrobným řešením vybraného způsobu chlazení a manipulace se sklářskou surovinou a zahrnuje jeho konstrukční řešení.

Čtvrtá a poslední kapitola popisuje přínos a využitelnost navrhovaného řešení.

1. Analýza současného stavu a přiblížení technologie barvení a chlazení skla

Cílem této kapitoly je stručné seznámení s teorií barvení skla koloidními barvivy. Dále je zde popsána problematika chlazení skla, výpočet chladicí křivky a provedeno seznámení se současným způsobem chlazení bižuterních polotovarů v Prysku po tepelném zpracování. V poslední části kapitoly budou shrnuty technické podmínky pro konstrukci nového chladicího a manipulačního zařízení.

1.1 Barvení skla koloidními barvivy

Barvení skla koloidními barvivy je jeden ze způsobu barvení skla. Jedná se o tepelné zpracování, při kterém dochází k zabarvení skla tzv. koloidními barvivy. Přesycené roztoky některých kovů ve sklovině jsou při chlazení příčinou toho, že vypadávají kovové částice ve formě krystalických zárodků. Každý ze zárodků je tvořen větším počtem atomů, uspořádaných ve formě krystalické mřížky. Při velikosti těchto částic pod 5 nm jsou skla bezbarvá. Tepelným zpracováním těchto skel tzv. nabíháním dochází k dalšímu růstu těchto krystalů, při tom tato dispersní fáze způsobuje absorpci světla charakteristické zabarvení – purpurové u zlatého rubínu, červené u měděného rubínu a žluté u stříbra. Absorpce světla je ovlivněna druhem, velikostí, počtem a tvarem částic rozptýlených ve skle. Při velikosti kovových částic 70 až 100 nm lze už pozorovat první zákal ve skle, ovšem hlavní funkcí částic 200 až 500 nm je odraz a rozptyl světla. Skla obsahující částice této velikosti mají již zřetelnou opalescenci, například zlatý rubín má v procházejícím světle jen světle namodralou barvu, avšak ve světle odraženém má barvu poměrně intenzivní žlutou až hnědou. Sklo se při tomto způsobu barvení nejčastěji barví zlatem, stříbrem a mědí. Při barvení skla zlatem je výsledná barva ovlivněna velikostí i počtem částic zlata. Sklo může nabývat barvy světle žluté, růžové, nafialověle červené až purpurově rubínové. Při použití stříbra sklo nabývá různých odstínů žluté barvy a při barvení mědí získáme tzv. měděný rubín tj. tmavě červené sklo, hematinon tj. zakalené hnědočervené sklo.[1]

Tab. 1 Přehled zabarvení krystaly kovů koloidní velikosti[1].

Kov	Používaná konc. g/100kg písku	Zabarvení
Zlato	2 až 40 g Au ve formě AuCl_3	Růžově až purpurově červený rubín
Stříbro	20 až 200 g AgNO_3 ve formě roztoku	Citrónově až oranžově žluté
Měď	200 až 2000 g CuO_2 2000 až 5000 g CuO_2 4000 až 8000 g CuO_2	Červený rubín Hnědočervené se zákalem – hematinon Aventurin – Kovově lesklé šupinky

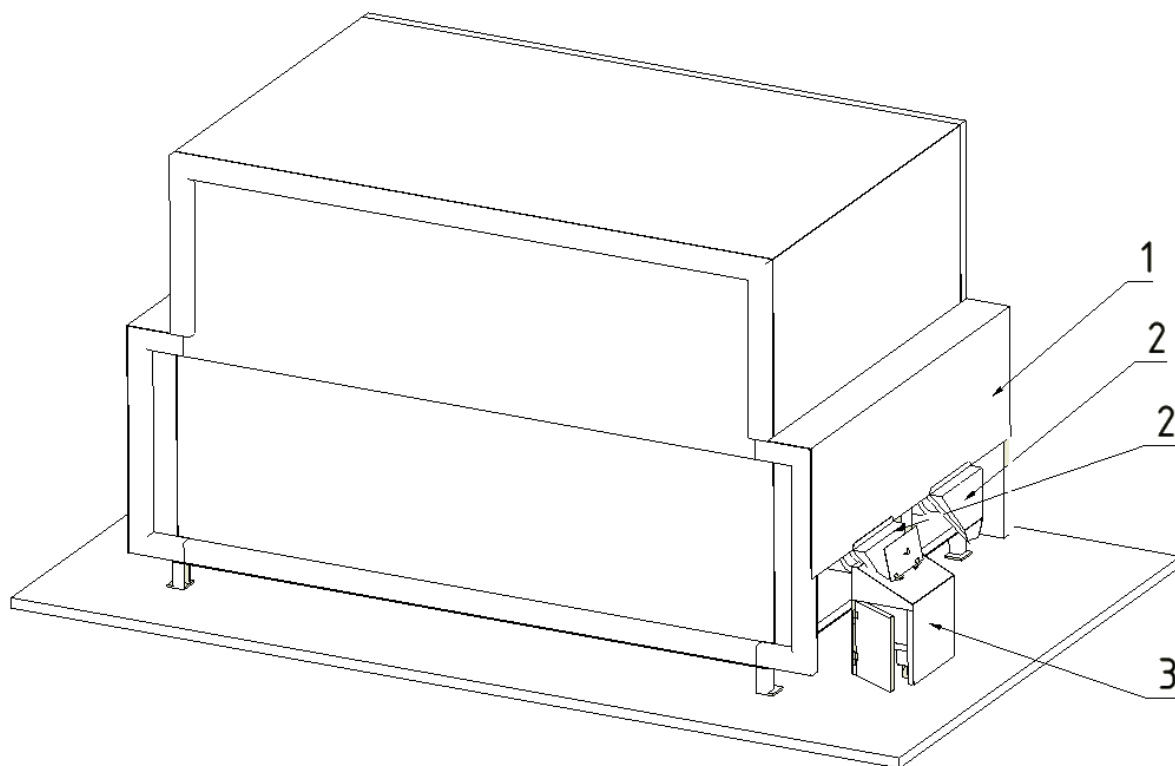
Nabíhací proces může být buď jednostupňový, nebo dvoustupňový. Při jednostupňovém nabíhání polotovary projdou nabíhací pecí pouze jednou při dvoustupňovém dvakrát, kdy je pec pokaždé nastavená na jinou teplotu. Barvy vyráběné nabíhacím procesem v Preciose jsou následující: citrín, oranž, hyacint, rubín, roza, roza světlá, siam, siam světlý, granát.



Obr. 1 Vzorník nabíhacích barev [2]

V Preciose se vyrábí kameny nejrůznějších tvarů a barev. Z důvodu zjednodušení výpočtu chladicího procesu bude Diplomová práce zaměřena na polotovary ve tvaru kuliček. Tento tvar je také nejčastěji vyráběným polotovarem pro výrobu bižuterních kamenů. Kuličky jsou různých průměrů v rozmezí velikostí 6 až 10 mm.

1.1.1 Nabíhací pec



Obr. 2 Schéma nabíhací pece: 1) Nabíhací pec, 2) Výstupní násypky, 3) Chladicí box.

V případě, že není nutné vypadávané polotovary dále chladit, jsou zachytávány do obyčejných plechových kbelíků. Je-li potřeba polotovary řízeně ochlazovat, jsou zachytávány do beden Mars, které jsou umístěny ve speciálních boxech (pozice 3 obr. 2). Proces probíhá kontinuálně. Nabíhací teploty se pohybují v rozmezí 600 až 800°C. U nabíhací pece je přivedena přípojka centrálního rozvodu stlačeného vzduchu, který je možné využít pro navrhované chladicí a manipulační zařízení. Samotná nabíhací pec je umístěná v místnosti ještě s dalšími pecemi, mezi kterými jsou 1,8 m široké uličky. Při návrhu manipulačního a chladicího zařízení je potřeba vycházet z omezených prostorových možností. Navržené konstrukční řešení musí být v bezprostřední blízkosti nabíhací pece a tudíž, jeho rozměry musí být takové, aby byl mezi nabíhacími pecemi dostatečný prostor pro bezpečný průchod.

1.2 Chlazení skla

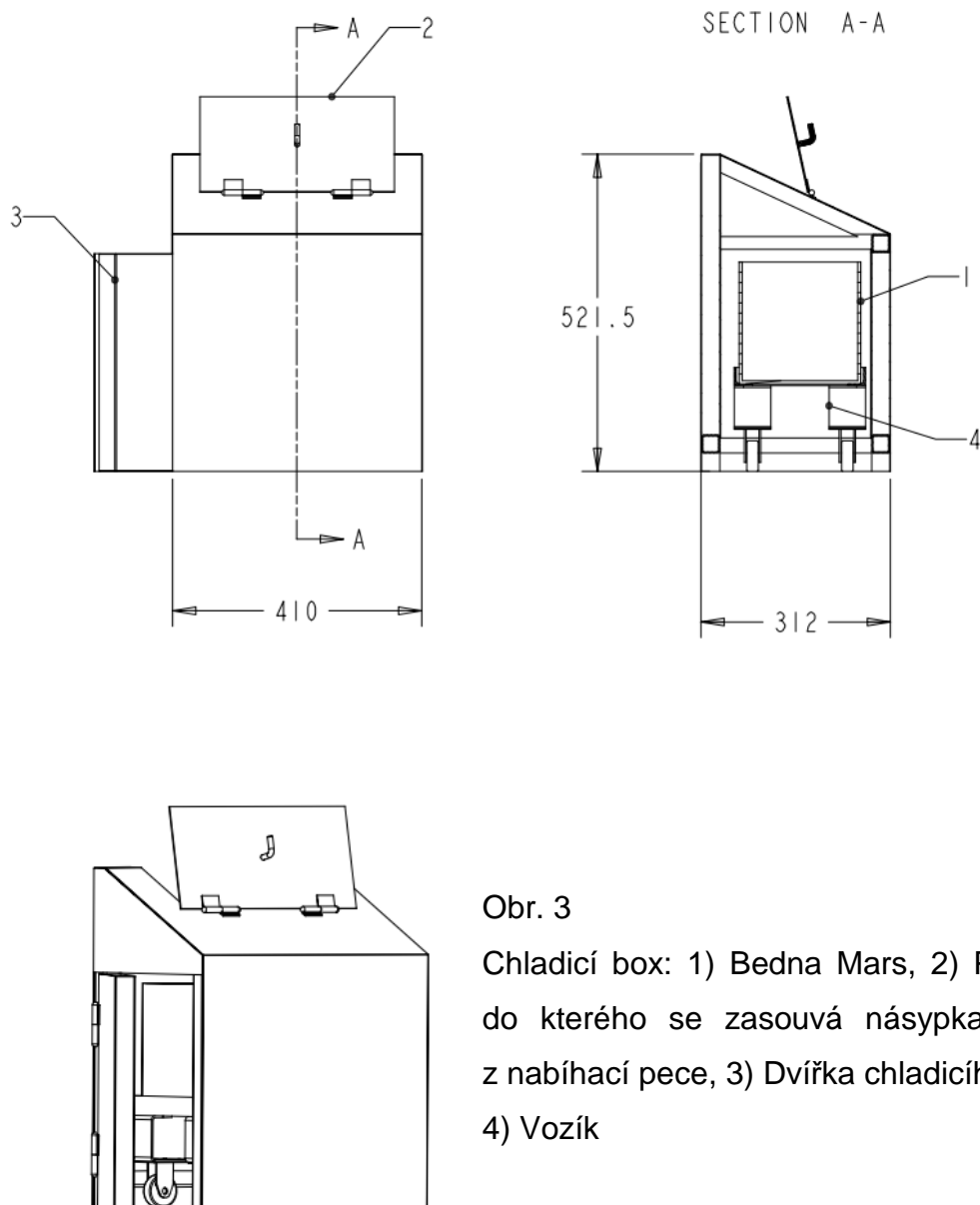
Chlazení skla je technologický postup tepelného zpracování výrobků, jehož účelem je dosáhnout toho, aby trvalé napětí ve výrobcích nepřesáhlo určitou předepsanou výši. Při chlazení se proto výrobky tepelně zpracovávají podle chladicí křivky navržené tak, aby se jednak odstranilo nepřípustné trvalé vnitřní napětí a jednak nevytvořilo nové.

1.2.1 Současný způsob chlazení

V současnosti jsou kuličky od průměru 6 mm na výstupu z nabíhací pece zachytávány do bedny, která je zevnitř vyložena izolační deskou sibrál. Vrstva sibrálu je cca 30 mm po stěnách i na dně nádoby. Tato bedna s kuličkami je ještě navíc umístěna v odizolovaném boxu a takto pohromadě je vše umístěno pod výstupem z nabíhací pece (obr. 2 pozice 3).

Po naplnění bedny (doba plnění je cca 1 hodina) je box s bednou ručně vyměněn za prázdný. V odstaveném boxu kuličky samovolně pomalu chladnou. Ochlazení polotovarů v boxu trvá z cca 500°C na 250-300°C cca 3 hodiny. U některých výlisků dochází vlivem vytvořeného vnitřního pnutí k praskání. Zpravidla se jedná o výlisky s dírkou a průměrem větším než 8 mm. Tyto výlisky je potřeba vychladit v chladicí peci. U plných koulí k praskání nedochází hned po naběhnutí barev, ale až při následném broušení. Povolená mez vnitřního pnutí je 150 nm·cm⁻¹. Podle informací z Prysku 99 % suroviny s průměrem větším než 6 mm tuto mez překračuje.

K vychlazení problémové suroviny se používá pásová chladicí pec o délce 13 000 mm, která je v jiné části závodu. Převážení suroviny od nabíhací pece je zajištěna ručně pomocí paletových vozíků.

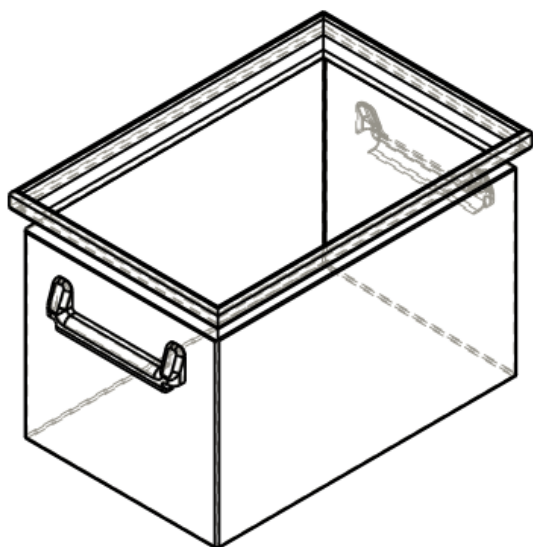


Obr. 3

Chladicí box: 1) Bedna Mars, 2) Poklop otvoru do kterého se zasouvá násypka na výstupu z nabíhací pece, 3) Dvířka chladicího boxu, 4) Vozík

Současný způsob chlazení je prováděn empiricky bez aplikace spočítané chladicí křivky. Skleněné polotovary jsou vystavovány navíc náhodným teplotním změnám při manipulaci i při chlazení v boxu. Jelikož k ochlazování dochází ve stavu, kdy jsou kuličky nasypané na jedné hromadě v bedně, chladne každý kus jinak podle toho, zda se nachází uprostřed hromady nebo na jeho povrchu. Pro účinné chlazení je třeba spočítat chladicí křivku, podle které se budou polotovary chladit a zkonstruovat vhodné chladicí zařízení, ve kterém budou polotovary chlazeny v homogenním teplotním poli.

1.2.2 Použité nádoby



V současnosti je na vypadávané polotovary použita bedna typu MARS 1008 vyložená sibralem (Obr. 4). Při návrhu nového řešení není nutné se tohoto typu nádoby držet. Je potřeba brát zřetel na skutečnost, že surovina zachytávaná v přepravním obalu více chladne na krajích a v rozích, než uprostřed, případně tento problém vyřešit jinou konstrukcí nádoby, v které se surovina nebude tolik hromadit. Nádoba musí být z materiálu, který vydrží teploty při

chlazení kuliček.

Obr. 4 Bedna Mars typ 1008 s rozměry: 300x200x190 mm

1.2.3 Chladicí postup [3],[4]

Chladicí postup se skládá ze 4 úseků:

A. Vyhřívání na chladicí teplotu

Rychlost vyhřívání na chladicí teplotu označujeme h_2 . Má být co nejvyšší a přitom nesmí dojít k praskání výrobků vlivem vznikajících přechodových napětí. Zpravidla se rychlost vyhřívání na chladicí teplotu určuje z rychlosti ochlazování v chladicí oblasti h_1 pomocí vztahu:

$$h_2 = 3h_1 \text{ až } 5h_1 \quad (1.1)$$

B. Výdrž na chladicí teplotě

Při udržování výrobku na chladicí teplotě má jednak dojít k odstranění nepřipustného trvalého napětí relaxací, jednak k vyrovnání teplotních gradientů na přípustnou hodnotu.

Výše chladicí teploty se volí obvykle v rozmezí 0 až 10°C pod horní chladicí teplotou skla ($\eta = 10^{13}$ dPa.s). V případě, že horní chladicí teplota není známa, zvolí

se chladicí teplota v rozmezí 0 až 10°C pod dilatometrickou transformační teplotou t_g .

C. Ochlazování v chladicí oblasti

Při ochlazování v chladicí oblasti vzniká ve skle teplotní gradient, který po zchladnutí a vyrovnaní teplot ve výrobku vyvolá trvalé napětí. Během ochlazování v chladicí oblasti nesmí proto dojít ve skle k vytvoření většího teplotního gradientu, než odpovídá maximálně přípustné hodnotě trvalého napětí. V žádném úseku chladicí oblasti nesmí být překročena předepsaná rychlost ochlazování h_1 .

Touto částí chladicího postupu musí projít všechny výrobky, i když případně mají vynechaný úsek vyhřívání a výdrže na chladicí teplotě.

Dolní hranici chladicí oblasti volíme podle typu pece 30 až 150°C pod teplotou výdrže. U moderních pecí s vířivou atmosférou 30 až 75°C pod teplotou výdrže, u pecí se stacionární atmosférou 100 až 150 °C pod teplotou výdrže.

Rychlost ochlazování v chladicí oblasti h_1 se vypočte ze vztahu:

$$h_1 = \frac{X}{C \cdot a^2 \cdot \xi(x)} [K \cdot \min^{-1}]$$

(1.2)

Kde: Xpřípustný měrný dráhový rozdíl [$\text{nm} \cdot \text{cm}^{-1}$],

asměrodatný rozměr výrobku [cm],

$\xi(x)$bezrozměrná funkce, vyjadřující vliv tvaru a velikosti výrobku,

C chladicí modul skloviny [$\text{nm} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$]

D. Dochlazování na teplotu 20 až 50°C

Rychlost dochlazování se obvykle volí stejně velká jako rychlost vyhřívání na chladicí teplotu a určuje se tedy z rychlosti h_1 pomocí vztahu:

$$h_2 = 3h_1 \text{ až } 5h_1 \quad (1.3)$$

1.2.4 Výpočet chladicího postupu

Chladicí postup je vypočten pro vzorky kuliček o průměru 6 a 10 mm. Tyto vzorky byly vybrány záměrně jako příklad nejmenší a největší kuličky. Pro výpočet byly použity dvě skloviny s nejnižší a nejvyšší transformační teplotou t_g ($t_{g\min}=434^\circ\text{C}$, $t_{g\max}=526^\circ\text{C}$). Pro zjištění časových extrémů tj. nejkratší a nejdelší dobu ochlazování byly provedeny čtyři výpočty pro čtyři extrémní případy.

Výpočet chladicího postupu pro vzorek kuličky Ø6 mm ze skloviny o transformační teplotě $t_g = 434^\circ\text{C}$

Výdrž na chladicí teplotě:

Když není známa přesná hodnota horní chladicí teploty, volí se chladicí teplota $0 - 10^\circ\text{C}$ pod t_g . [4]

Chladicí teplota: $t_{ch} = 430^\circ\text{C}$

Doba výdrže na chladicí teplotě: $\vartheta_1 = 20 \text{ min}$ [4]

Ochlazování v chladicí oblasti:

Chladicí rychlost:

Dáno:

$X = 90 \text{ nm}\cdot\text{cm}^{-1}$ (přípustný dráhový rozdíl, který udává Preciosa je $90 \text{ nm}\cdot\text{cm}^{-1}$)

$a = 0,3 \text{ cm}$ (směrodatný rozměr je v případě plné koule její poloměr)

$\xi(x) = 0,0011$

$C = 3100 \text{ nm}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$

(Pokud není chladicí modul daného skla znám, dosazuje se do výpočtu průměrná zaokrouhlená hodnota $C = 3100 \text{ nm}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$. [4])

$$h_1 = \frac{X}{C \cdot a^2 \cdot \xi(x)} \text{ [}^\circ\text{C/min]}$$

$$h_1 = \frac{90}{3100 \cdot 0,3^2 \cdot 0,0011 \cdot 60} = 4,89 \text{ }^\circ\text{C/min}$$

Určení dolní hranice chladicí oblasti:

Dolní hranice chladicí oblasti se volí podle typu pece 30 až 150°C pod teplotou výdrže. U moderních pecí s vířivou atmosférou 30 až 75°C pod teplotou výdrže, u pecí se stacionární atmosférou 100 až 150°C pod teplotou výdrže [4]. Zatím není známo, jaký druh atmosféry bude v navrženém chladícím zařízení, proto bude určena dolní hranice chladicí oblasti pro všechny čtyři mezní hodnoty.

Vířivá atmosféra:

$$t_{d1} = 430 - 30 = 400^{\circ}\text{C}$$

$$t_{d2} = 430 - 75 = 355^{\circ}\text{C}$$

Stacionární atmosféra

$$t_{d3} = 430 - 100 = 330^{\circ}\text{C}$$

$$t_{d4} = 430 - 150 = 280^{\circ}\text{C}$$

Čas potřebný pro vychlazení v chladicí oblasti:

Čas potřebný pro vychlazení v chladicí oblasti se vypočte podělením rozdílu teploty výdrže a dolní hranice chladicí oblasti, chladicí rychlostí h_1 . Výpočet je proveden pro čtyři různé dolní hranice chladicí oblasti.

Časy pro zařízení s vířivou atmosférou:

$$\vartheta_{21} = \frac{30}{4,89} = 6,13 \text{ min}$$

$$\vartheta_{22} = \frac{75}{4,89} = 15,34 \text{ min}$$

Časy pro zařízení se stacionární atmosférou:

$$\vartheta_{23} = \frac{100}{4,89} = 20,45 \text{ min}$$

$$\vartheta_{24} = \frac{150}{4,89} = 30,67 \text{ min}$$

Dochlazování na teplotu 50°C:

Chladicí rychlost h_2 se vypočte pomocí vztahu $h_2 = 3h_1$ až $5h_1$. Jelikož se jedná o výrobky malých rozměrů jednoduchého tvaru, můžeme počítat s vyšší rychlostí ochlazování.

$$h_2 = 5h_1 = 5 \times 4,89 = 24,45 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$$

Čas potřebný na dochlazení na teplotu 50°C se vypočte podělením $t_{di} - 50^{\circ}\text{C}$ (dolní hranice chladicí oblasti mínus 50°C) rychlostí h_2 . Opět jsou vypočteny čtyři hodnoty času pro čtyři různé dolní hranice chladicí oblasti.

Časy pro zařízení s vířivou atmosférou:

$$\vartheta_{31} = \frac{t_{d1} - 50}{h_2} = \frac{350}{24,45} = 14,31 \text{ min}$$

$$\vartheta_{32} = \frac{t_{d2} - 50}{h_2} = \frac{305}{24,45} = 12,47 \text{ min}$$

Časy pro zařízení se stacionární atmosférou:

$$\vartheta_{33} = \frac{t_{d3} - 50}{h_2} = \frac{280}{24,45} = 11,45 \text{ min}$$

$$\vartheta_{34} = \frac{t_{d3} - 50}{h_2} = \frac{230}{24,45} = 9,41 \text{ min}$$

Celkový čas pro vychlazení polotovaru

Celkový čas se vypočte sečtením jednotlivých časů potřebných na vychlazení v jednotlivých fázích chladicího postupu. Opět jsou vypočteny čtyři různé hodnoty pro čtyři rozdílné dolní hranice chladicí oblasti, které jsou závislé na typu atmosféry v chladicím zařízení.

$$\vartheta_{celki} = \vartheta_1 + \vartheta_{2i} + \vartheta_{3i}$$

Celkové časy pro zařízení s vířivou atmosférou:

$$\vartheta_{celk1} = 20 + 6,13 + 14,31 = 40,44 \text{ min}$$

$$\vartheta_{celk2} = 20 + 15,34 + 12,47 = 47,81 \text{ min}$$

Celkové časy pro zařízení se stacionární atmosférou:

$$\vartheta_{celk3} = 20 + 20,45 + 11,45 = 51,9 \text{ min}$$

$$\vartheta_{celk4} = 20 + 30,67 + 9,41 = 60,08 \text{ min}$$

Při výpočtu následujících tří případů se postupovalo stejně jako v případě výše uvedeném, proto popis výpočtu nebude podrobně popisován.

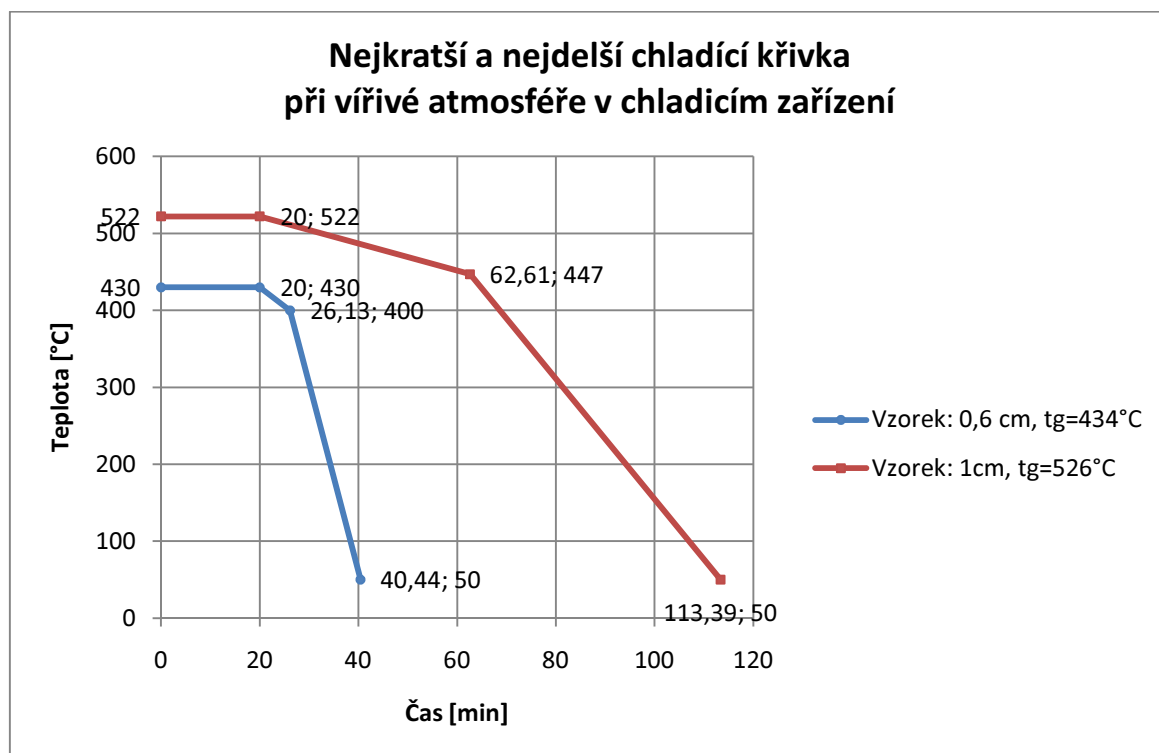
Tab. 2 Vypočtené chladicí časy

Druh vzorku	Typ atmosféry	Chladicí čas
Ø 6 mm $t_g = 434^\circ\text{C}$	Vířivá	40,44 až 47,81
	Stacionární	51,9 až 60,08
Ø 10 mm $t_g = 434^\circ\text{C}$	Vířivá	76,82 až 97,27
	Stacionární	108,64 až 131,37
Ø 6 mm $t_g = 526^\circ\text{C}$	Vířivá	46,25 až 53,62
	Stacionární	57,71 až 65,88
Ø 10 mm $t_g = 526^\circ\text{C}$	Vířivá	92,96 až 113,39
	Stacionární	124,77 až 147,5

Chladicí časy se pohybují v rozmezí 52,9 až 148,5 minut u zařízení se stacionární atmosférou a v rozmezí 41,44 až 114,39 minut u zařízení s vířivou atmosférou.

1.2.5 Chladicí křivky

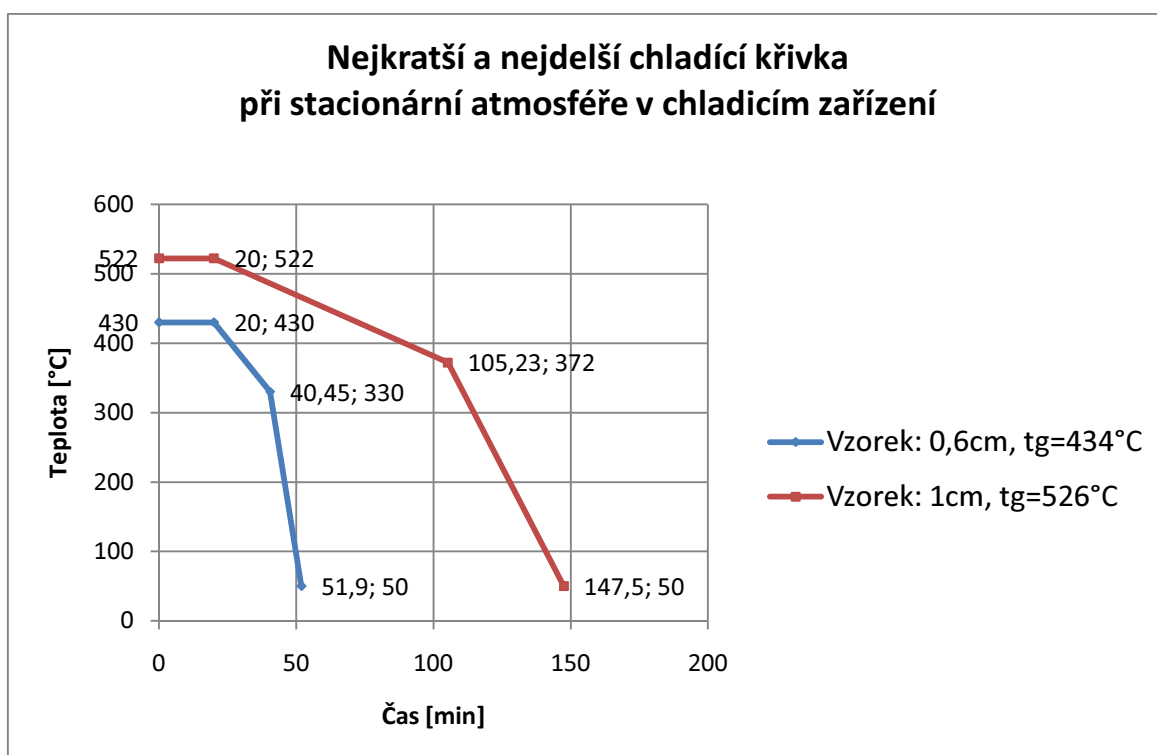
Na obr. 5 jsou znázorněné dvě extrémní chladicí křivky při použití zařízení s vířivou atmosférou. Nejkratší křivka je pro vzorek o $\varnothing 6$ mm, který je vyroben ze skloviny o $t_g = 434^\circ\text{C}$. Chladicí teplota je v tomto případě nastavena na 430°C a dolní hranice chladicí oblasti je nastaven 400°C . Rychlost ochlazování v chladicí oblasti je $4,89^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost dochlazování na teplotu 50°C je $24,45^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejdelší křivka je pro vzorek o $\varnothing 10$ mm a je vyroben ze skloviny s transformační teplotou $t_g = 526^\circ\text{C}$. Chladicí teplota je 522°C a dolní hranice chladicí oblasti je 447°C . Rychlost ochlazování v chladicí oblasti je $1,76^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost dochlazování na 50°C je $8,8^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 5 Nejkratší a nejdelší chladicí křivka při vířivé atmosféře

Na obr. 6 jsou znázorněné dvě extrémní chladicí křivky při použití zařízení se stacionární atmosférou. Nejkratší křivka je pro vzorek o $\varnothing 6$ mm, který je

vyroben ze skloviny o $t_g = 434^\circ\text{C}$. Chladicí teplota je v tomto případě nastavena na 430°C a dolní hranice chladicí oblasti je nastaven 330°C . Rychlost ochlazování v chladicí oblasti je $4,89^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost dochlazování na teplotu 50°C je $24,45^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejdelší křivka je pro vzorek o $\varnothing 10$ mm a je vyroben ze skloviny s transformační teplotou $t_g = 526^\circ\text{C}$. Chladicí teplota je 522°C a dolní hranice chladicí oblasti je 372°C . Rychlost ochlazování v chladicí oblasti je $1,76^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ a rychlost dochlazování na 50°C je $8,8^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$.

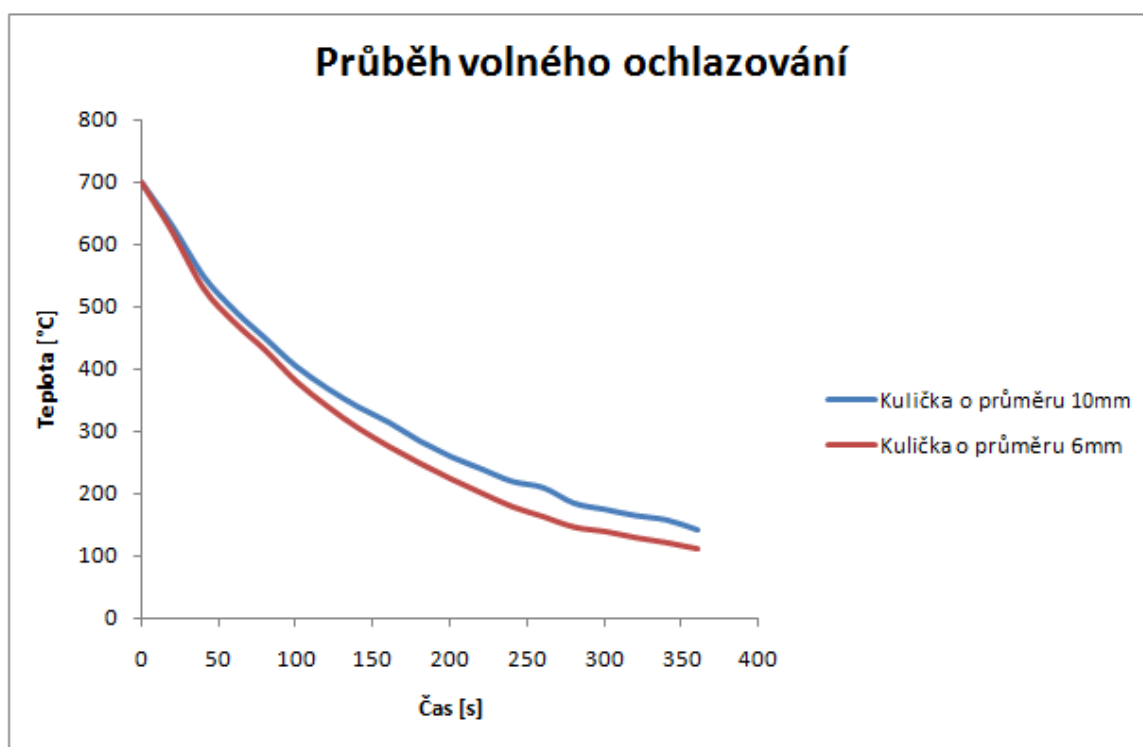


Obr. 6 Nejkratší a nejdelší chladicí křivka při stacionární atmosféře

Výše uvedený výpočet chladicího postupu je pouze orientační. Podstatným výsledkem tohoto výpočtu jsou pouze časy potřebné na vychlazení, které je potřeba znát pro navržení optimálního chladicího zařízení. Pro přesný výpočet chladicího postupu a chladicí křivky je nutné znát viskozitní křivku dané skloviny.

1.2.6 Volné chladnutí

Pro srovnání je zde uvedena křivka volného chladnutí na vzduchu (Obr. 7). Tato křivka je výsledkem experimentu provedeného v laboratoři Katedry sklářských strojů a robotiky na TU v Liberci za pomoci termovizní kamery FLIR. Vzorky (kuličky o průměru 6 a 10 mm) byly v peci zahřáty na teplotu 750°C. Poté byly vyjmuty a položeny na sibalovou podložku. V průběhu chladnutí byly snímány termovizní kamerou až do doby, než ochladly na teplotu nižší než 100°C. Informace o časovém průběhu volného chladnutí budou využity při navrhování manipulačních časů s polotovary, kdy nejsou umístěny ve vyhřívané atmosféře. Při experimentu žádný ze vzorků vlivem volného chladnutí nepraskl. Lze tedy předpokládat, že vzniklé vnitřní pnutí během krátké manipulace, nezpůsobí popraskání polotovaru a bude následně odstraněno při řízeném ochlazování.



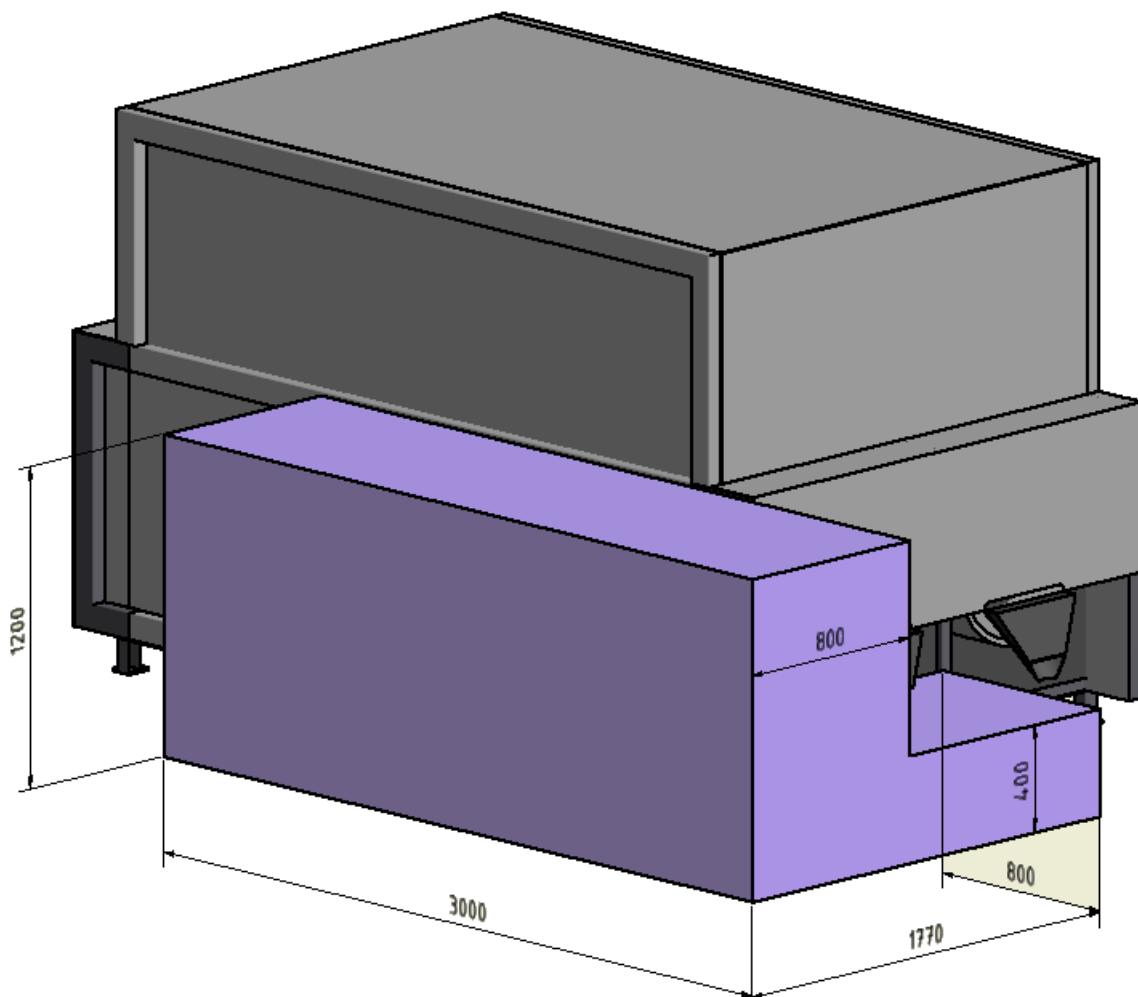
Obr. 7 Průběh volného ochlazování

1.3 Shrnutí technických podmínek a požadavků na chladicí zařízení

1.3.1 Technické podmínky

Prostorové dispozice

Zařízení se musí vejít do omezeného prostoru v těsné blízkosti nabíhací pece. Rozměry maximálního možného zastavěného prostoru jsou zakresleny na Obr. 8 a Obr. 9. Cílem konstrukce je snažit se navrhnout chladicí zařízení tak, aby svými rozměry nebránilo volnému průchodu mezi jednotlivými pecemi. Další možností je využít prostoru nad nabíhací pecí a chladicí zařízení umístit nad nabíhací pec.



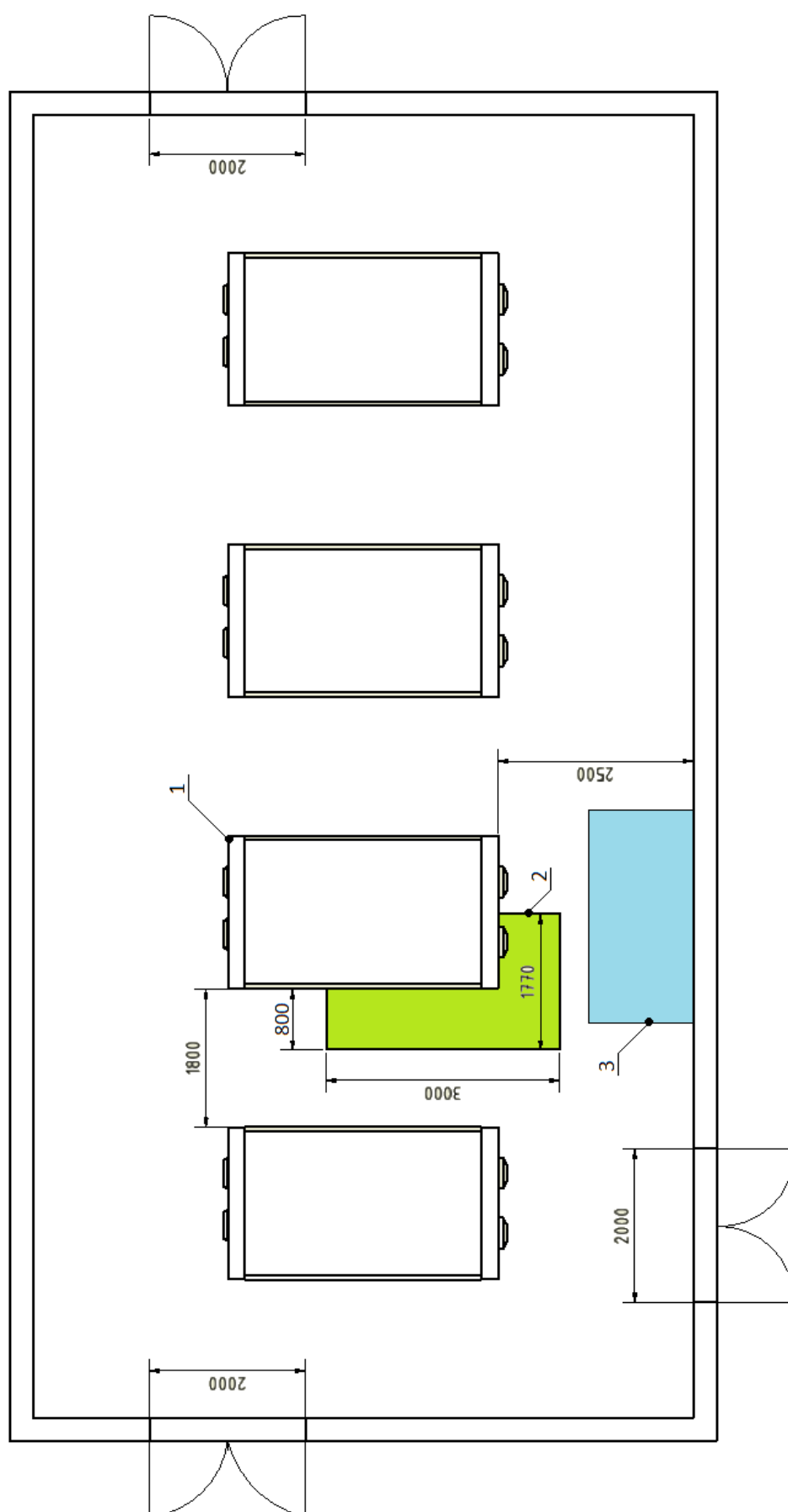
Obr. 8 Prostor určený pro navrhované chladicí zařízení

- Možnosti napájení - elektrická energie, stlačený vzduch
- Teploty - teplota vypadávajících polotovarů z nabíhací pece:

- 550 – 750°C
- Požadovaná teplota na konci chladicího cyklu je cca 25 – 50°C
 - Maximální teplota uvnitř chladicího zařízení 650°C
 - Teplota v okolí nabíhací pece 25°C
 - Polotovary
 - Kuličky průměru 6 – 10 mm
 - Maximální hmotnost kuličky průměru 10 mm je $m = 1,56 \text{ g}$
 - Výrobnost
 - 4 – 6 kg/hod tj. cca 4000 ks/hod tj. cca 70 ks/min
 - Průměrná velikost zakázky jedné barvy – 300 kg
 - Časy
 - Čas na vyrobení jedné zakázky:
 - jednostupňové nabíhání – 55 hod
 - dvoustupňové nabíhání – 80 hod
 - Technologická pauza mezi zakázkami: 1 – 24 hod
 - Čas potřebný na vychlazení jedné kuličky 41 – 148 minut (záleží na chladicí křivce a velikosti daného výrobku)

1.3.2 Požadavky na chladicí zařízení

- Navržené chladicí zařízení se musí vypořádat s minimálními prostorovými možnostmi v těsné blízkosti nabíhací pece.
- Chladicí zařízení musí využívat zdrojů energie, které jsou dostupné v blízkosti nabíhací pece.
- Při změně vyráběného sortimentu, musí být možné během technologické pauzy změnit potřebnou chladicí teplotu uvnitř chladicího zařízení.
- Povrch chladicího zařízení musí mít takovou teplotu, aby při kontaktu s lidskou pokožkou nezpůsobil žádná zranění, tj. musí být menší než 70°C.
- Musí být zajištěna šetrná manipulace s chlazenými polotovary tak, aby nedošlo k jejich poškození a znehodnocení.

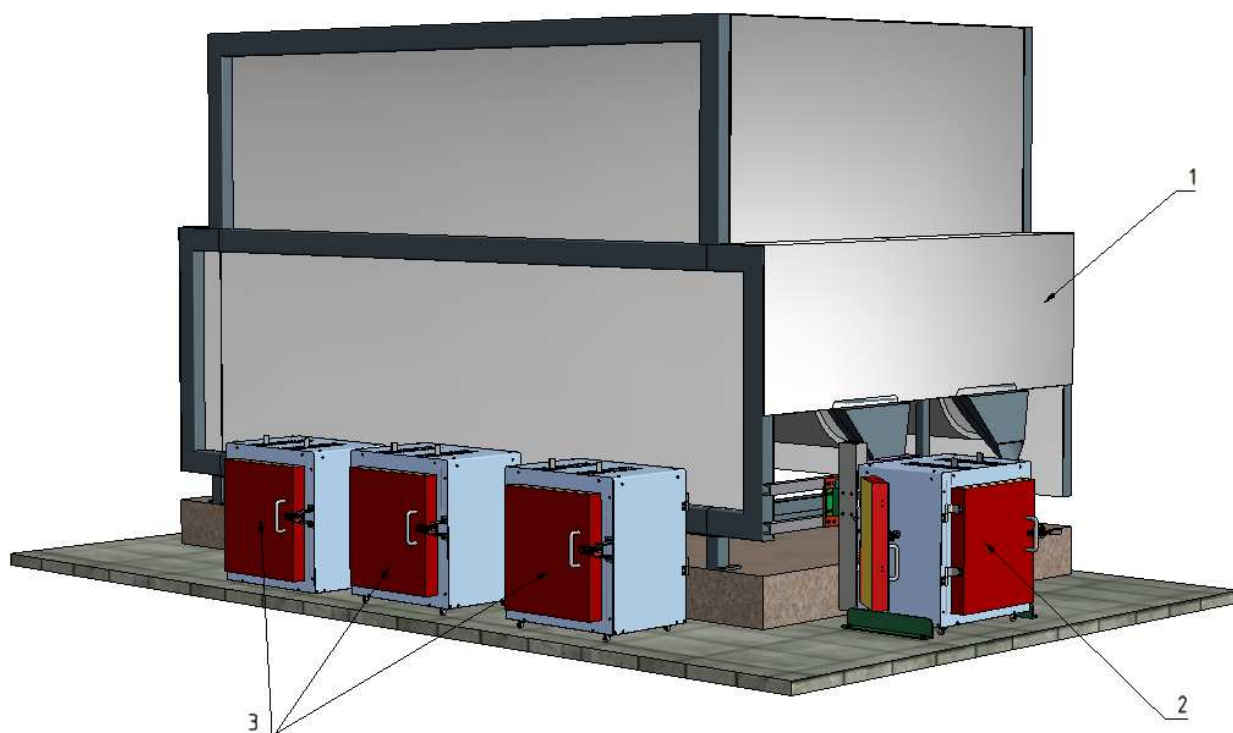


Obr. 9 Layout: 1) Nabíhací pec, 2) Prostor pro budoucí manipulační a chladicí zařízení, 3) Prostor do kterého se v současné době odkládají plně chladicí boxy

2. Návrhy řešení

Při návrhu chladicího zařízení se nabízejí tři možnosti řešení. První možnost jak chladit polotovary je dnes již využívaný, zaizolovaný chladicí box bez vlastního vytápění, kde skleněné polotovary samovolně chladnou. Tato varianta je nevyhovující, a proto dále nebude rozvíjena. Další možností jak dané polotovary chladit je za pomoci malého vytápěného chladicího boxu, který svou konstrukcí vychází z konstrukce laboratorních pícek. Poslední varianta vychází konstrukce pásových chladicích pecí, kdy je chlazení polotovarů realizováno pomocí malé pásové pece nainstalované nad nabíhací pecí.

2.1 Varianta 1 - Chladicí box



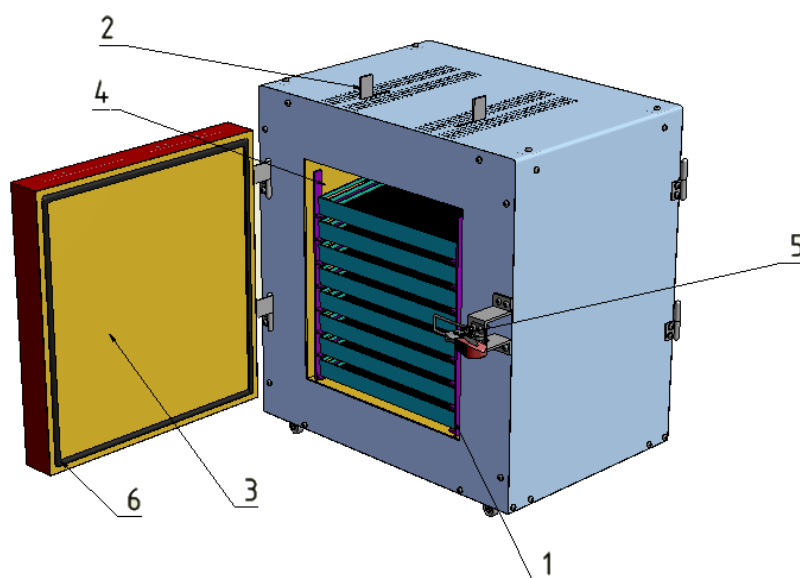
Obr. 10 Pohled na umístění chladicích boxů: 1) Nabíhací pec, 2) Box v pozici plnění, 3) Boxy v pozici chlazení

2.1.1 Popis zařízení

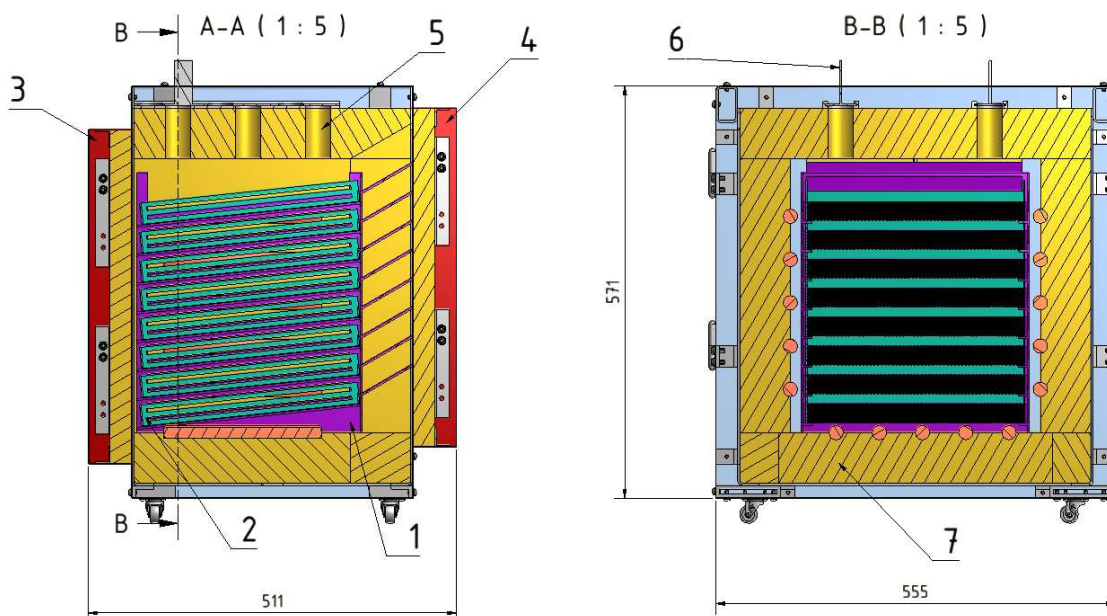
Konstrukce chladicího boxu vychází z konstrukce malých laboratorních pícek.

Chladicí box je uvnitř vybaven osmi nádobami (síty) na skleněné polotovary. Plnění boxu probíhá tak, že obsluha přiveze chladicí box pod výstupní násypku nabíhací pece a vypadávající polotovary padají do vnitřního prostoru boxu otvorem v jeho zadní části. Po naplnění boxu obsluha vymění plný box za prázdný a v plném boxu začíná proces řízeného chlazení polotovarů. Box je vybaven topnými odporovými elementy, které jej vytopí na požadovanou chladicí teplotu. Box je též vybaven regulačním systémem, který zajišťuje postupné ochlazování dle navržené chladicí křivky.

Po vychlazení polotovarů obsluha z boxu jednotlivá síta vyjme a následně vyprázdní a opět zasune do příslušné pozice v boxu. Prázdný box je opět připraven na další plnění. Celý box je zaizolován sibalovými deskami. Rám boxu je svařen z ocelových L profilů, ke kterému jsou přivařeny úchyty krycích plechů, pantů, a dalších prvků. Sibalové desky jsou do rámu vlepeny pomocí speciálního teplotně vysoce odolného lepidla na lepení žáruvzdorných materiálů.



Obr. 11 Chladicí box: 1) Síto, 2) Manuální regulace větracích otvorů, 3) Přední dveře, 4) Vnitřní rám s policemi, 5) Zavírací mechanismus, 6) Těsnící lano



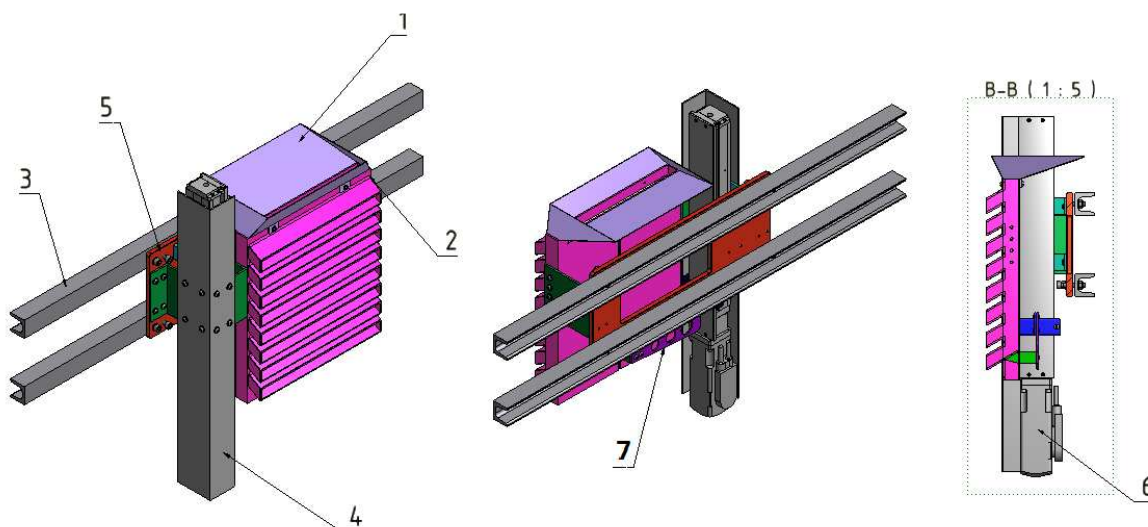
Obr. 12 Příčný a podélný průřez boxem: 1) Rám s policemi na síta, 2) Síto, 3) Přední dveře, 4) Zadní dveře, 5) Větrací otvory, 6) Manuální regulace větracích otvorů, 7) Topné moduly

2.1.2 Plnění boxu

Popis zařízení

Na obr. 13 je znázorněno plnicí zařízení. Zařízení se skládá z několika hlavních částí. Polotovary vstupují do zařízení v jeho horní části pomocí vstupní násypky (poz. 1). Uvnitř těla plnicího zařízení (poz. 2) je pohyblivé rameno (poz 7), které zajišťuje rovnoměrné plnění jednotlivých sít chladicího boxu. Toto rameno je spojeno s lineárním pohonem (poz. 6), který zajišťuje jeho vertikální posuv mezi jednotlivými síty. V tab. 3 na straně 27 jsou uvedené plnicí časy jednotlivých sít pro různé velikosti sortimentu. Vždy po uplynutí času potřebného pro naplnění jednoho síta lineární pohon posune rameno k dalšímu plnicímu otvoru. Jednotlivá síta se plní ve směru zespodu nahoru a po naplnění všech sít v chladicím boxu se pohyblivé rameno zastaví v prostoru nad horním plnicím otvorem a tím je zamezen vstup polotovarů do plnicího zařízení. Když obsluha mění plný box za prázdný, tak se vypadávající polotovary hromadí v prostoru vstupní násypky. Až je box vyměněn a umístěn ve správné pozici u plnicího zařízení, sjede pohyblivé

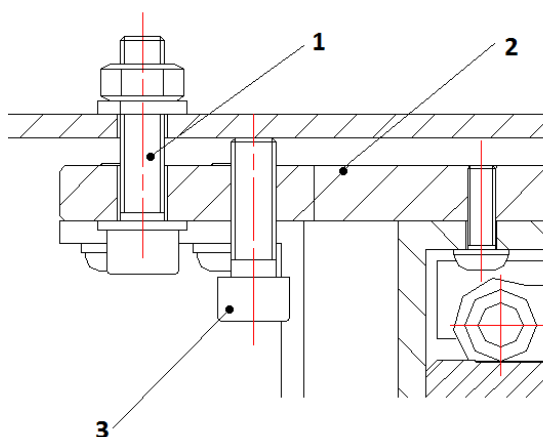
rameno opět do spodní pozice, nahromaděné polotovary se vysypou do spodního síta a celý proces plnění se opakuje.



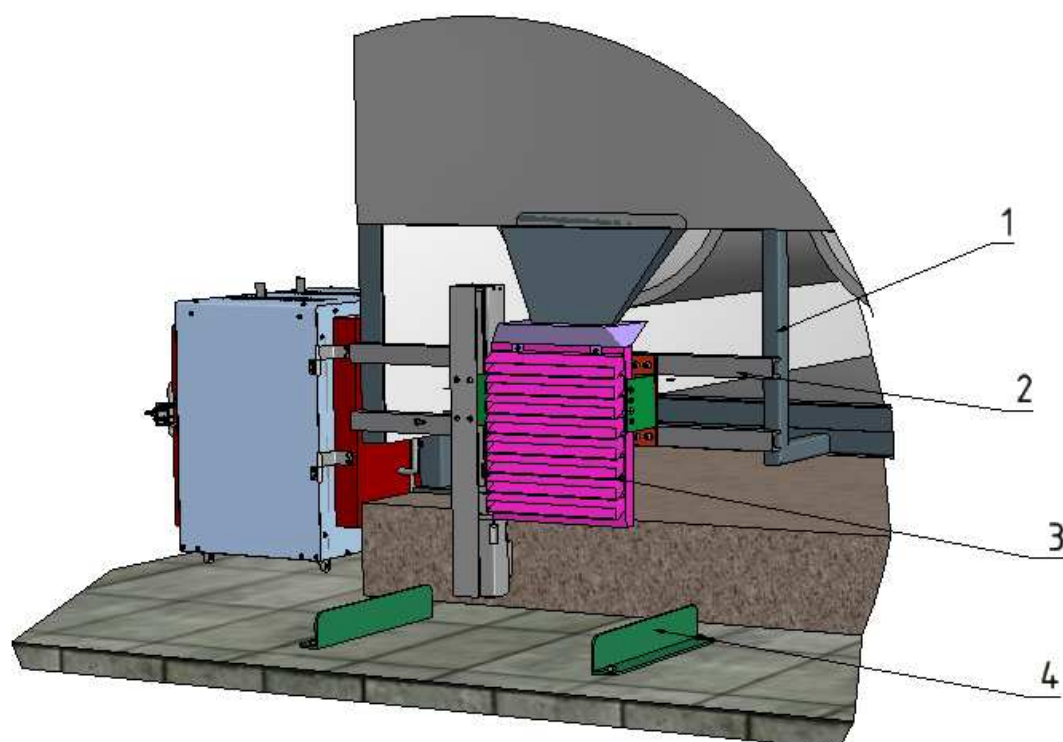
Obr. 13 Plnicí zařízení: 1) Vstupní násypka, 2) Komora plnicího zařízení s přírubami, 3) U profily, 4) Kryt lineárního actuátoru, 5) Deska, 6) Lineární actuator, 7) Pohyblivé rameno

Samotný přechod polotovarů z plnicího zařízení do chladicího boxu zajišťují příruby, které jsou přivařeny ke komoře plnicího zařízení. Celé plnicí zařízení je k rámu nabíhací pece připevněno pomocí ocelové desky, ke které jsou přišroubovány jednotlivé části zařízení.

Na obr. 15 je znázorněno nainstalované plnicí zařízení. K rámu nabíhací pece jsou přivařeny 2 U profily, ke kterým je plnicí zařízení přišroubováno pomocí 4 šroubů. Pro zajištění kolmosti zařízení kolmosti s podlahou je deska opatřena čtyřmi rektifikačními šrouby (obr. 14). K podlaze jsou ukotveny 2 vymežovací profily, které zajišťují správnou polohu boxu u plnicího zařízení.

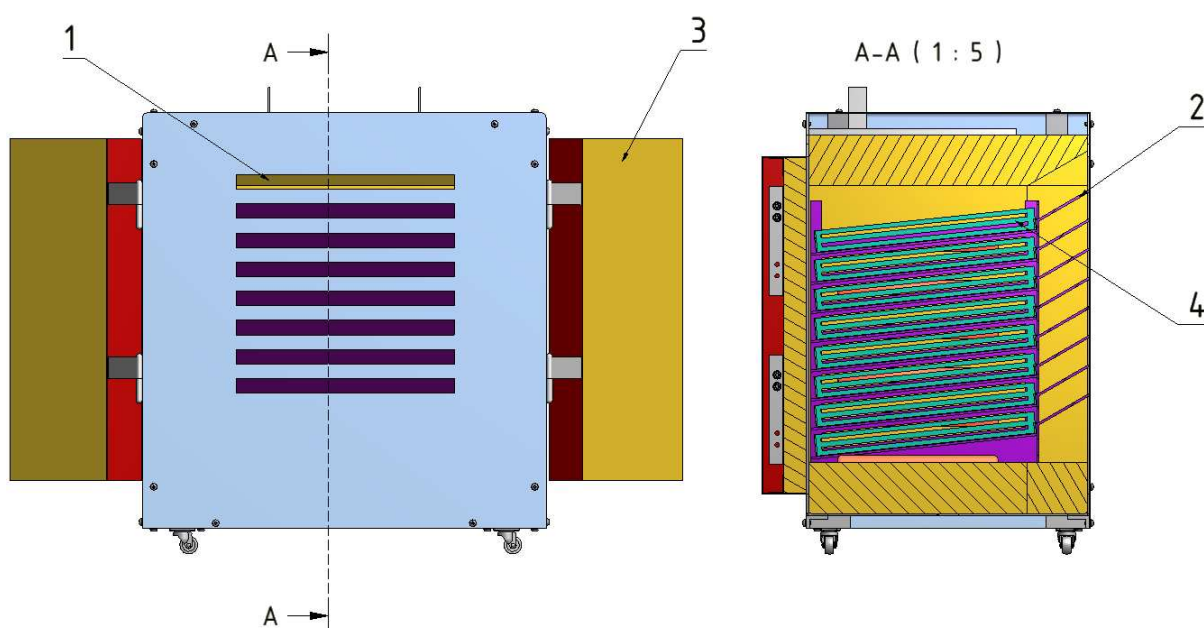


Obr. 14 Upevnění desky k U profilu:
1) Upevňovací šroub, 2) Deska
3) Rektifikační šroub



Obr. 15 Pohled na nainstalované plnicí zařízení: 1) Rám nabíhací pece, 2) U profily, 3) Plnicí Zařízení, 4) Vymezovací profily

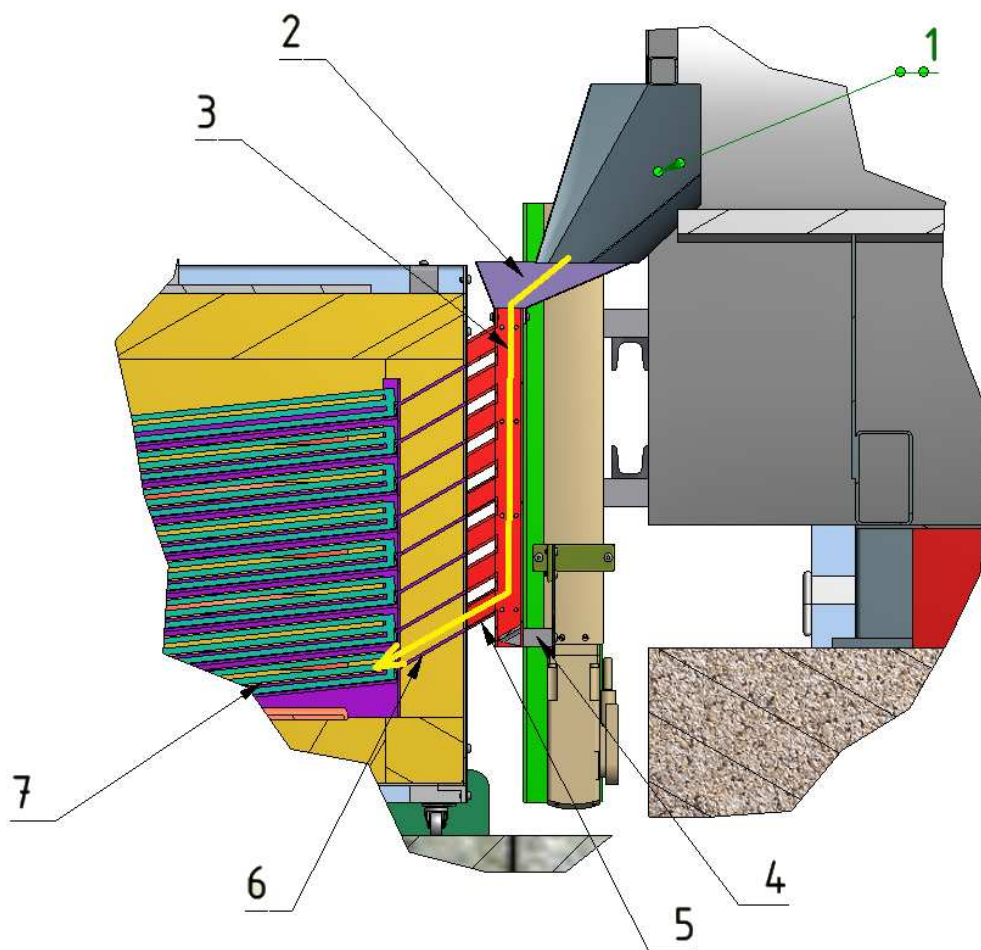
Úprava chladicího boxu



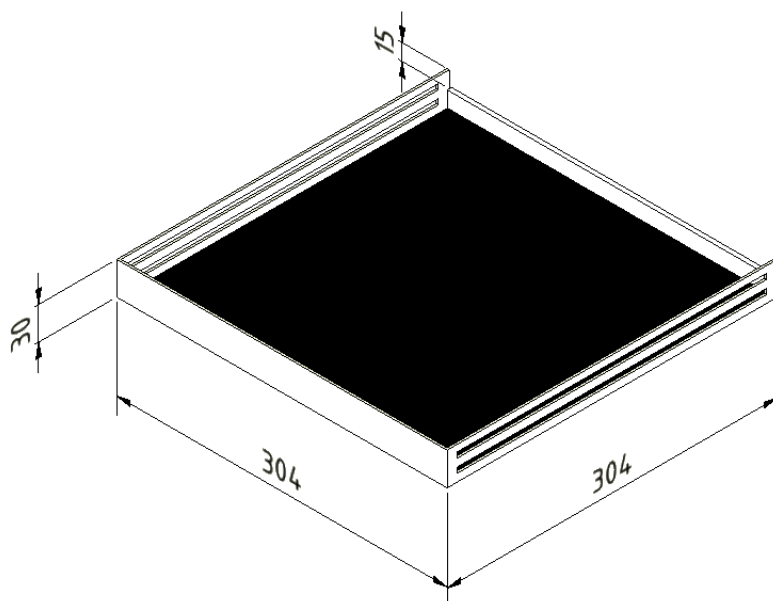
Obr. 16 Chladicí box: 1) Vstupní otvory, 2) Skluz, 3) Zadní dveře, 4) Síta

Na obr. 17 je znázorněn detail přistaveného chladicího boxu k plnicímu zařízení. Žlutá šipka naznačuje směr pohybu vypadávajících polotovarů z nabíhací pece do jednoho ze sít.

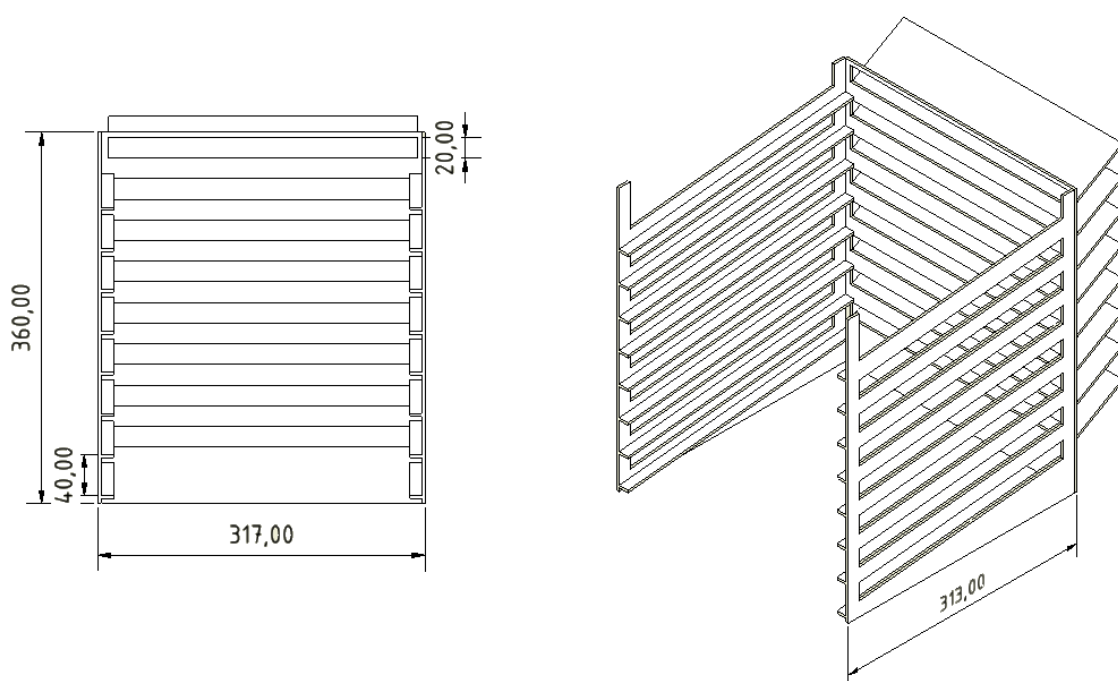
Aby se polotovary nehromadily v bezprostřední blízkosti vstupu do síta, jsou síta v boxu umístěna pod mírným sklonem. Kulička se díky mírnému sklonu vždy odkutálí od vstupu do síta a tím je zajištěno jejich rovnoměrné plnění. Rám síta je zhotoven z 2 mm silného ocelového plechu. Zadní strana je snížena o 15 mm, tímto otvorem vstupují do síta skleněné polotovary. Dno síta je zhotoveno z jemné drátěné tkaniny, která zajišťuje volný průchod vzduchu. Při plnění je box temperován na teplotu blízkou chladicí teplotě, aby bezprostředně po skončení plnění mohl začít řízený proces ochlazování.



Obr. 17 Detail spojení chladicího boxu s plnicím zařízením: 1) Výstupní násypka nabíhací pece, 2) Násypka plnicího zařízení, 3) Komora plnicího zařízení, 4) Pohyblivé rameno, 5) Příruba, 6) Skluz, 7) Síto



Obr. 18 Síto



Obr. 19 Vnitřní rám

Na obrázku 19 je znázorněn vnitřní rám s některými základními rozměry, do kterého se zasouvají jednotlivá síta. Rám je svařen z 3 mm silného plechu ze žáruvzdorné oceli.

2.1.3 Shrnutí technických parametrů

Vnější rozměry: 511 x 555 x 571 mm

Rozměry síta: 300 x 300 x 30 mm

Množství výrobků v boxu a plnicí časy:

Množství výrobků v sítu:

$$N = \frac{S_1}{S_2}$$

S_1 ...Plocha síta $S_1 = 300 \times 300 = 90\,000 \text{ mm}^2$

S_2 ...Plocha kterou zabere jedna kulička $S_2 = (d+3)^2 \text{ [mm]}$, d...průměr kuličky

Plnicí časy:

Polotovary vypadávají z nabíhací pece rychlostí cca 70 ks/min

$$\text{Doba plnění síta} = \frac{\text{Množství výrobků v sítu}}{70} \text{ [min]}$$

$$\text{Doba plnění boxu} = \text{Doba plnění síta} \times 8 \text{ [min]}$$

Tab. 3 Množství výrobků a plnicí časy

Průměr výrobku [mm]	Množství v sítu [ks]	Množství v boxu [ks]	Doba plnění síta [min]	Doba plnění boxu [min]
6	1089	8712	16	128
7	900	7200	13	104
8	729	5832	11	88
9	625	500	9	72
10	529	4232	7	56

2.1.4 Výhody a nevýhody

Výhody

Výhodou tohoto zařízení oproti dřívějšímu způsobu chlazení je, že jednotlivé polotovary v boxu nejsou nasypány na jedné hromadě, ale jsou uvnitř boxu naskládány ve vrstvách, mezi kterými může dobře proudit chladicí vzduch. Tím se zajistí důkladné vychlazení všech jednotlivých polotovarů.

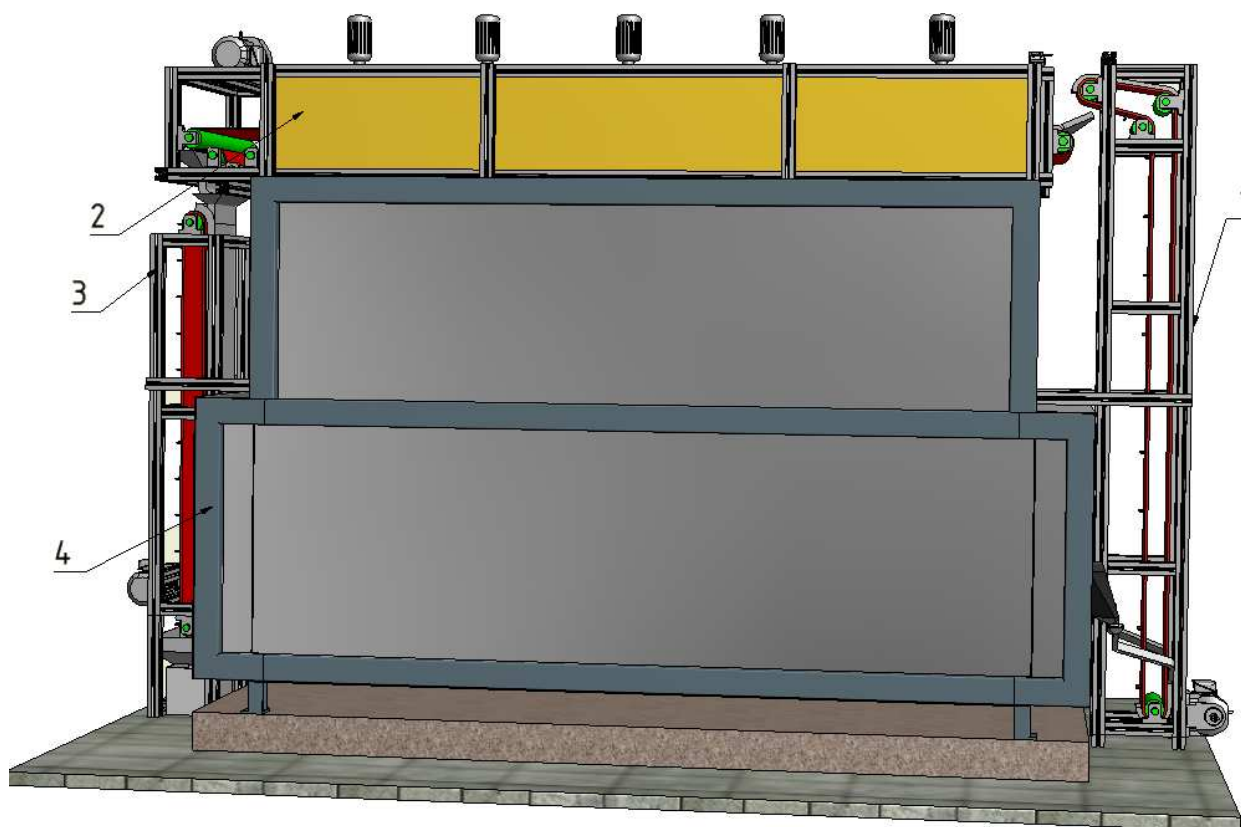
Dalšími výhodami této varianty chlazení jsou mobilita a malé rozměry chladicího boxu. Rozměry a množství polotovarů, které box pojme, jsou velmi

podobné boxu používanému při dosavadním způsobu chlazení. Jelikož není nutné chladit veškerý sortiment, ale pouze sortiment větších rozměrů, může být box vždy přistaven k nabíhací peci, ve které se zrovna barví tento druh sortimentu. Při nepotřebě chlazení může být box odstaven na vhodném místě.

Nevýhody

Nevýhodou této varianty je častější zásah obsluhy při vyměňování a vyprazdňování jednotlivých boxů. Při každé výměně musí být box odpojen od elektrické energie a při postavení do místa, kde bude probíhat chlazení, musí být opět připojen.

2.2 Varianta 2 – Pásová chladicí pec nad nabíhací pecí

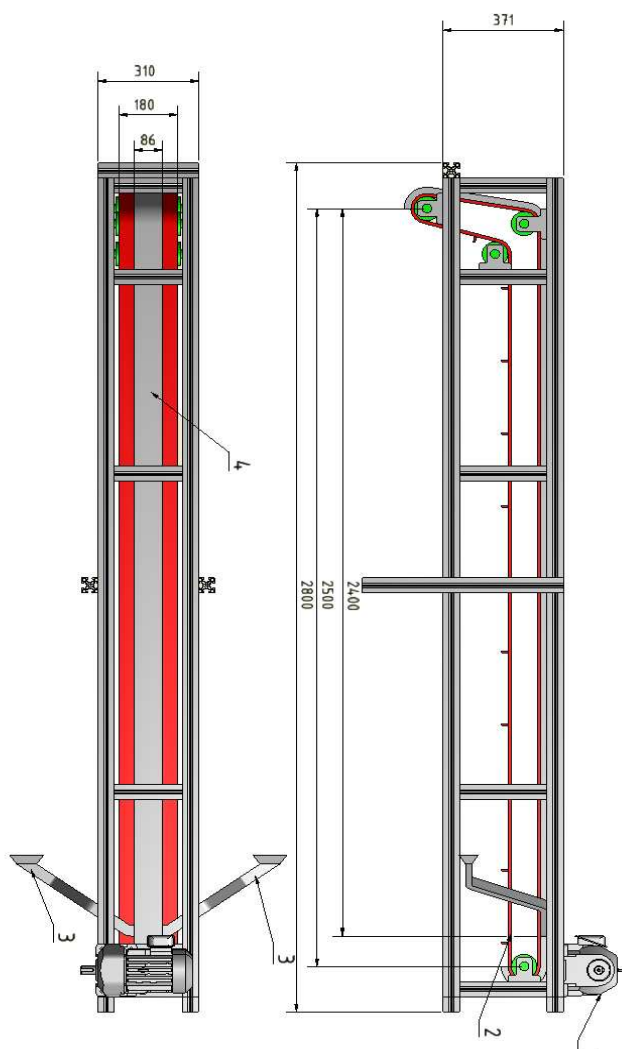


Obr. 20 Uspořádání chladicí pece a dopravníků: 1) Dopravník ke vstupu chladicí pece, 2) Pásová chladicí pec, 3) Dopravník od výstupu chladicí pece, 4) Nabíhací pec

2.2.1 Popis zařízení

Zařízení se skládá ze dvou vertikálních dopravníků a pásové chladicí pece. Polotovary vypadávající z nabíhací pece jsou pomocí násypek usměřňovány k prvnímu vertikálnímu dopravníku (obr. 20, poz. 1). Dopravník přemístí kuličky směrem vzhůru k chladicí peci (obr. 20, poz. 2). V chladicí peci jsou polotovary vychlazený podle navržené chladicí křivky. Po vychlazení jsou polotovary dopravovány za pomoci druhého vertikálního (obr. 20, poz. 3) dopravníku směrem dolů, kde vypadávají do předem připravených nádob.

2.2.2 Vstupní vertikální dopravník



Obr. 21 Vstupní vertikální dopravník: 1) Pohon, 2) Dopravní pás, 3) Násypky, 4) Kryt pásu

Na obr. 21 je znázorněn svislý drátěný pásový dopravník s některými základními rozměry. Drátěný dopravní pás (poz. 2) je osazený policemi z průmyslových kartáčů. Polotovary jsou násypkami (poz. 3) usměrňovány směrem k pásu, kde dopadají na drátěné police a jsou dopravovány směrem vzhůru ke vstupu do chladicí pece. Pás s policemi je zakrytván ocelovým plechem, ke kterému kartačové police doléhají a vytvářejí tak uzavřený prostor, ve kterém se nacházejí přepravované polotovary. Pohon dopravníku je zajištěn elektromotorem umístěným v jeho spodní části (poz. 1). Rám dopravníku je zhotoven z Al extrudovaných profilů

Čas manipulace:

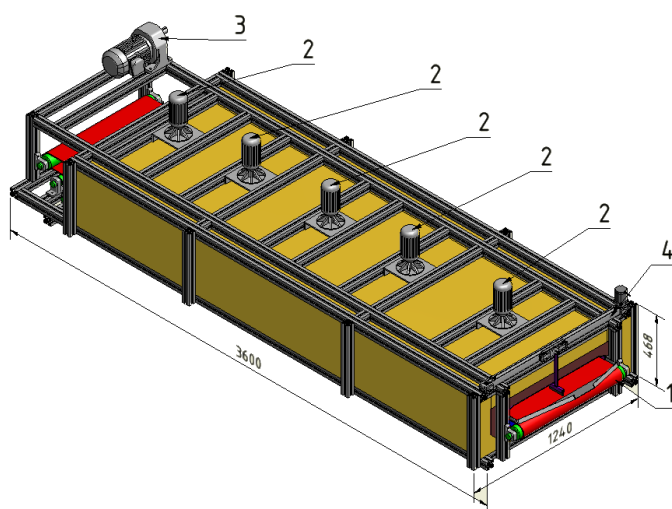
Dopravní výška: $l = 2\,400\text{ mm}$

Rychlost pásu $v = 0,3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

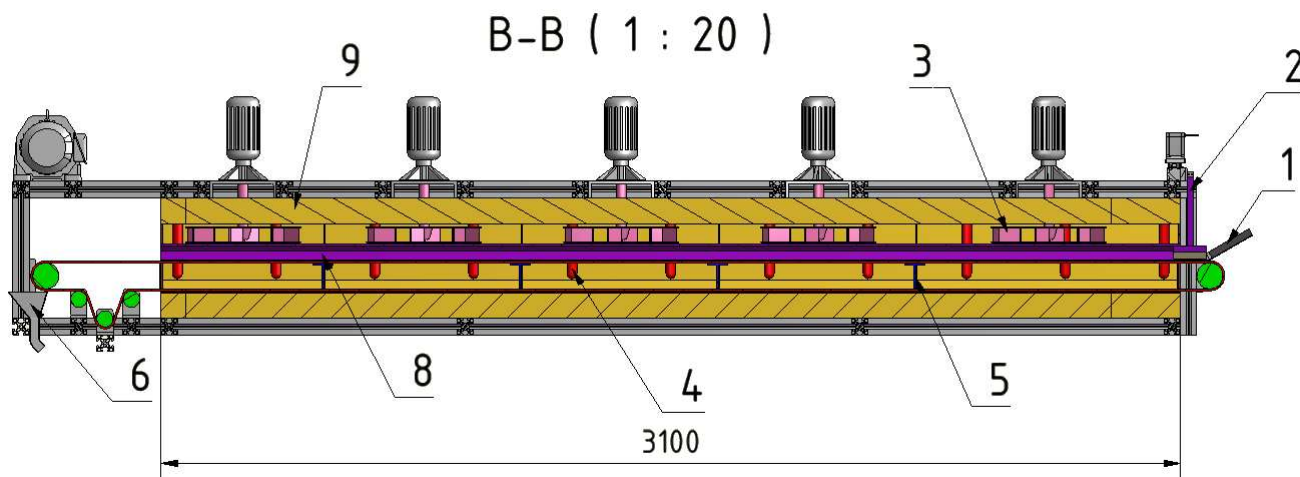
$t_m = 2,4/0,3 = 8\text{ s}$

Podle křivky volného chladnutí polotovarů za dobu 10 s ochladnou kuličky cca o 30°C. Při experimentu v laboratoři nedošlo při takto rychlém ochlazení polotovarů k prasknutí. Napětí vzniklé při tomto prudkém ochlazení, bude odstraněno při následném řízeném ochlazování.

2.2.3 Chladicí pec



Obr. 22 Pásová chladicí pec: 1) Dopravní pás, 2) Pohony ventilátorů, 3) Pohon pásu, 4) Zařízení na rozhrnování polotovarů



Obr. 23 Podélný řez chladicí pecí: 1) Vstupní násypka, 2) Rozhrnovací zařízení, 3) Radiální ventilátor, 4) Topné těleso, 5) Oddělovací přepážky, 6) Výstupní násypky, 8) Chladicí prostor, 9) Izolace

Polotovary vypadávající ze vstupního dopravníku, jsou na pás usměřňovány vstupní plechovou násypkou (obr. 23, poz. 1). Pro pravidelné rozmístění polotovarů na pásu je u vstupu zařízení, které polotovary rovnoměrně rozhrnuje po celé šířce pásu (obr. 23, poz. 2). Vnitřek pece je vytápěn elektrickými odporovými trubicemi (obr. 23, poz. 4) a vířivou atmosféru v peci zajišťují radiální ventilátory (obr. 23, poz. 3). Pec je přepážkami (obr. 23, poz. 5) rozdělena na několik samostatných sekcí. Každá sekce má vlastní regulaci teploty a oběhu vzduchu. Celá pec je zaizolována sibalovými izolačními deskami (obr. 23, poz. 9).

Návrh rozměrů pece a její využitelnost [3]

Největší polotovary jsou kruhového půdorysu o průměru $d_v = 0,01$ m

Výpočtový průměr polotovaru:

$$D_v = (d_v + x) = (0,01 + 0,003) = 0,013 \text{ m}$$

Navržená užitečná šířka pásu pece: $w_1 = 0,74$ m

Navržená délka pásu pece: $l = 3,5$ m

Rychlost pásu pece při nejdelším chladícím čase ve vířivé atmosféře:

Chladicí čas: $\vartheta_{\text{chcelk}} = 114 \text{ min} = 6\,840 \text{ s}$

Délka pásu pece: $l = 3,5$ m

$$v = \frac{3,5}{6840} = 5,12 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 1,84 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$$

Výpočet teoretického počtu výlisků kruhového půdorysu na pás za hodinu:

$$N_{hto} = 1,157 \frac{w_1 \cdot v_1}{D_v^2} = 1,157 \frac{0,74 \cdot 1,84}{0,013^2} = 9321 \text{ ks/hod}$$

Maximální výrobnost obou výstupů nabíhací pece:

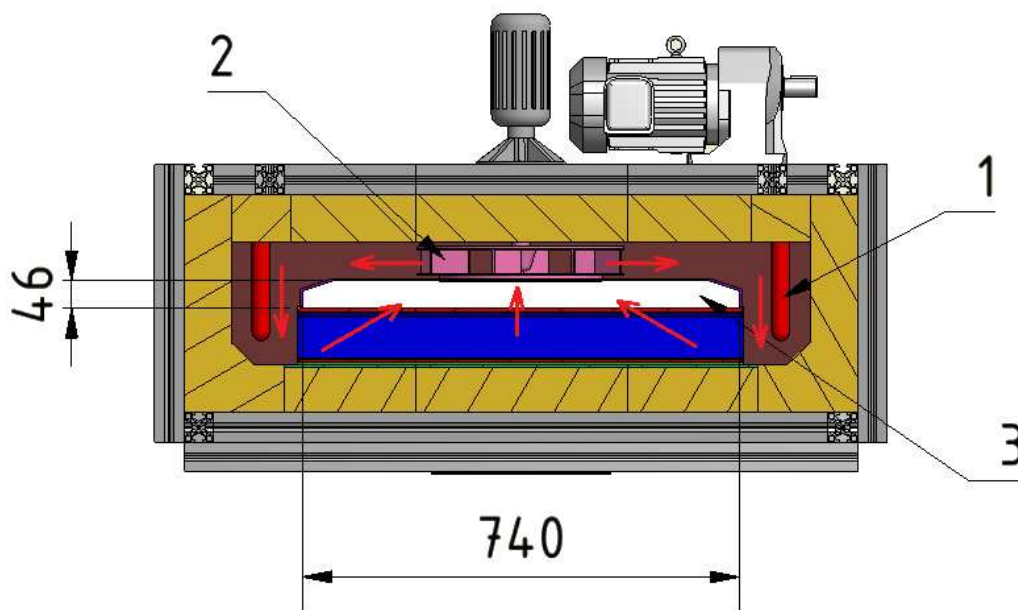
$$Q_n = 140 \text{ ks/min} = 8400 \text{ ks/min}$$

Procentuální využití navržené chladicí pece:

$$\frac{8400}{9321} = 0,90 \Rightarrow 90 \%$$

Rozměry pece jsou navrženy tak, aby vyhovovali chlazení největších polotovarů podle nejvíce časově náročného chladicího postupu.

Oběh vzduchu v peci

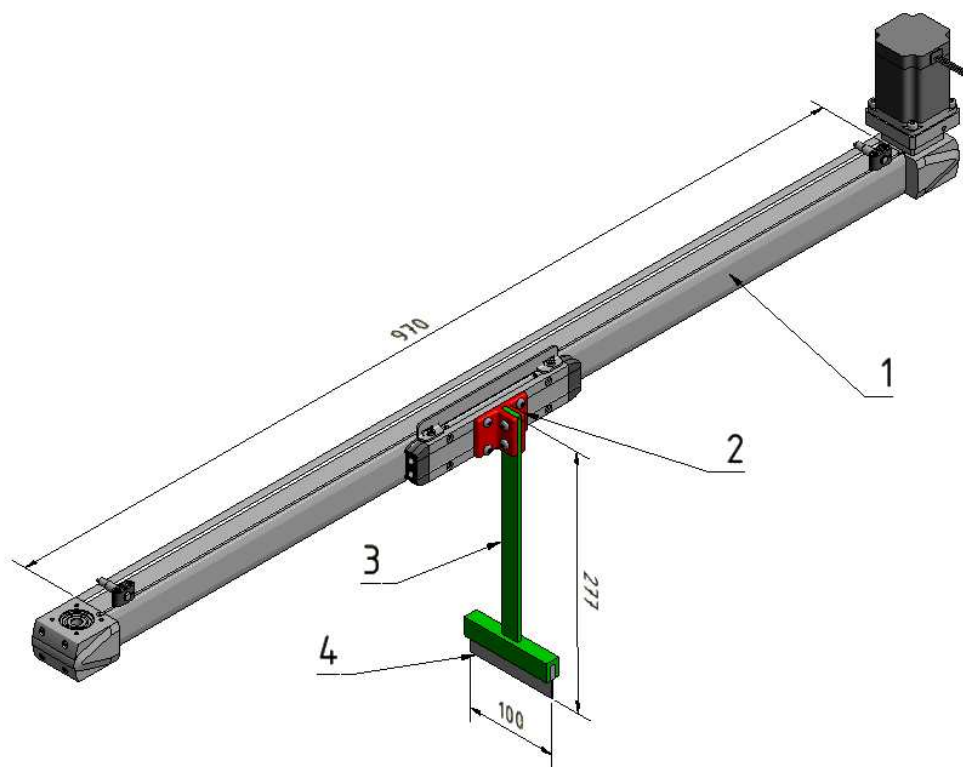


Obr. 24 Oběh vzduchu v peci: 1) Topné odporové elementy, 2) Radiální ventilátor, 3) Chladicí prostor

Na obrázku 24 je v příčném řezu pece červenými šipkami znázorněn směr cirkulace vzduchu uvnitř pece. Oběh teplého vzduchu v peci je zajištěn radiálními ventilátory (obr. 24, poz. 2) umístěnými nad chladícím prostorem. Ventilátor

nasává vzduch přes dopravní pás do chladicího prostoru (obr. 24, poz. 3) a poté jej vrhá směrem k topným elementům (obr. 24, poz. 1), které vzduch ohřívají na potřebnou teplotu.

Rozhrnovací mechanismus



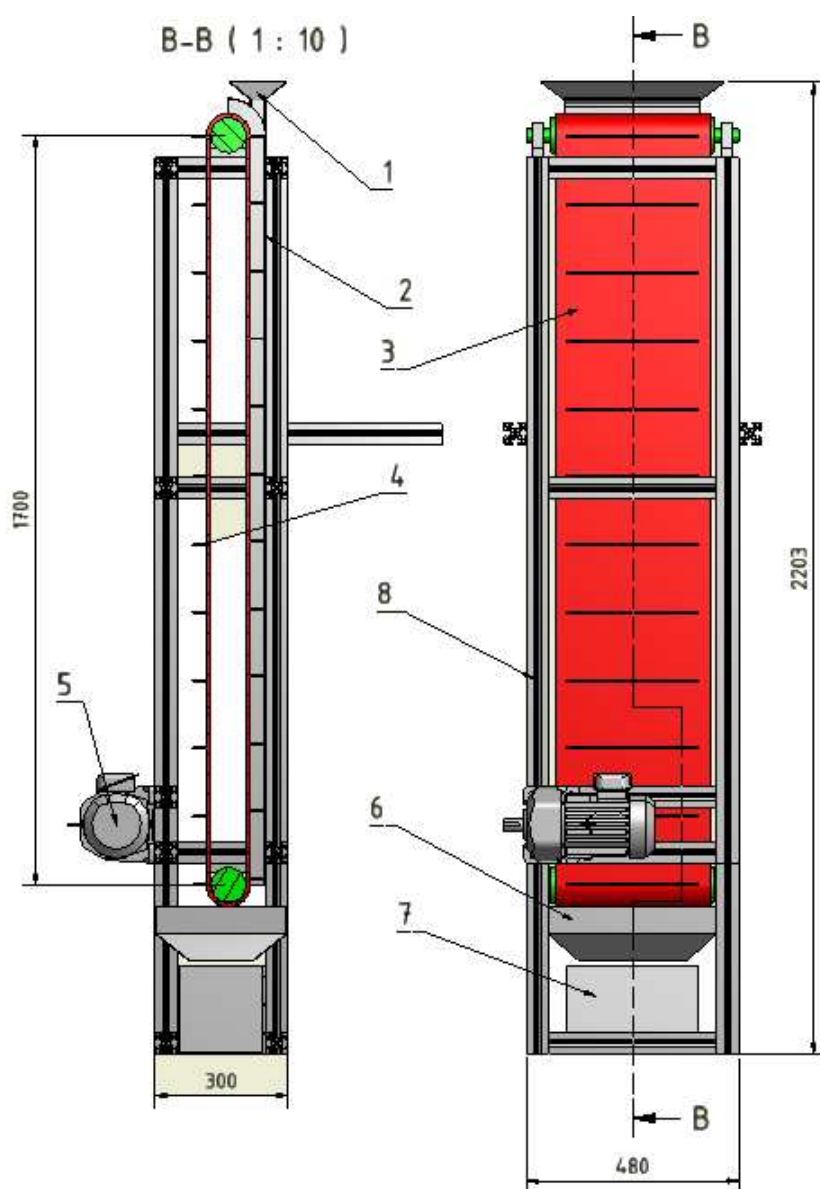
Obr. 25 Rozhrnovací mechanismus: 1) Lineární actuator, 2) Držák, 3) Rameno, 4) Kartáč

Rozhrnovací mechanismus se skládá z částí popsanych na obr. 24. K lineárnímu actuatoru, je pomocí držáku a ramene připevněn rozhrnovací kartáč. Kartáč je vyroben z tepelně odolné čedičové tkaniny. Lineární actuator koná po celou dobu plnění pohyb z jedné krajní polohy do druhé a tím k němu připevněný kartáč rozhrnuje u vstupu do chladicí pece polotovary po celé šířce pásu.

2.2.4 Výstupní vertikální dopravník

Na obr. 26 je znázorněn výstupní vertikální dopravník, který zajišťuje dopravu již vychlazených polotovarů do připravených beden Mars. Dopravník je konstruován podobně jako vstupní dopravník. Drátěný pás dopravníku je osazen policemi z průmyslových kartáčů. Dopravní výška je 1700 mm. Rychlost dopravníku je zvolena $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Doba manipulace: $t_m = 1,7 / 0,2 = 8,5 \text{ s}$



Obr. 26 Výstupní vertikální dopravník: 1) Vstupní násypka, 2) Plechový kryt, 3) Dopravní drátěný pás, 4) Drátěné police, 5) Pohon dopravníku, 6) Výstupní násypka, 7) Nádoba na vychlazené polotovary

2.2.5 Výhody a nevýhody

Výhody

Výhodou této koncepce je, že chlazení probíhá plně automaticky. Obsluha spustí zařízení, navolí předem naprogramovaný chladicí cyklus a potom pouze zajišťuje výměnu nádob na vychlazené polotovary. Další výhodou je, že zařízení i přes své větší rozměry, díky umístění nad nabíhací pec nijak nezmenšuje komunikační uličky v okolí nabíhací pece. Výhodou také je, že zařízení odebírá polotovary od obou výstupů nabíhací pece. Pokud není nutné daný sortiment chladit, je možné navrhnout vstupní násypky tak, aby je bylo možné v případě potřeby odklopit.

Nevýhody

Hlavní nevýhodou tohoto zařízení je obtížná regulace teploty v jednotlivých sekcích pece. Jednotlivé sekce jsou příliš krátké a rychlost pásu vzhledem k celkové délce a potřebnému chladicímu času je také velmi malá. Z těchto důvodů je velmi obtížné atmosféru v peci regulovat tak, aby výsledný průběh chlazení odpovídal vypočtené chladicí křivce.

Nevýhodou této koncepce je, složitější a nákladnější konstrukce než u výše uvedených chladicích boxů. Další nevýhodou tohoto zařízení je jeho pevná zakotvenost u nabíhací pece. Je tedy nutné upravit výrobu tak, aby se výrobky, které je nutné řízeně chladit, barvily právě v peci, která bude tímto zařízením osazena. V neposlední řadě je nevýhodou tohoto zařízení jeho obtížná dostupnost při opravách, což může velmi zdržet výrobu při nečekaných poruchách.

2.3 Výběr varianty

Pro výběr nejvhodnější varianty řešení bylo použito rozhodovací analýzy. Jedná se o metodu, která patří do kategorie heuristických metod. Účelně spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování. Rozhodovací analýza postihuje užité vlastnosti i zápory posuzovaných variant.

Tab. 4 Podle rozhodovací analýzy byla vybrána varianta č. 2 Chladicí box

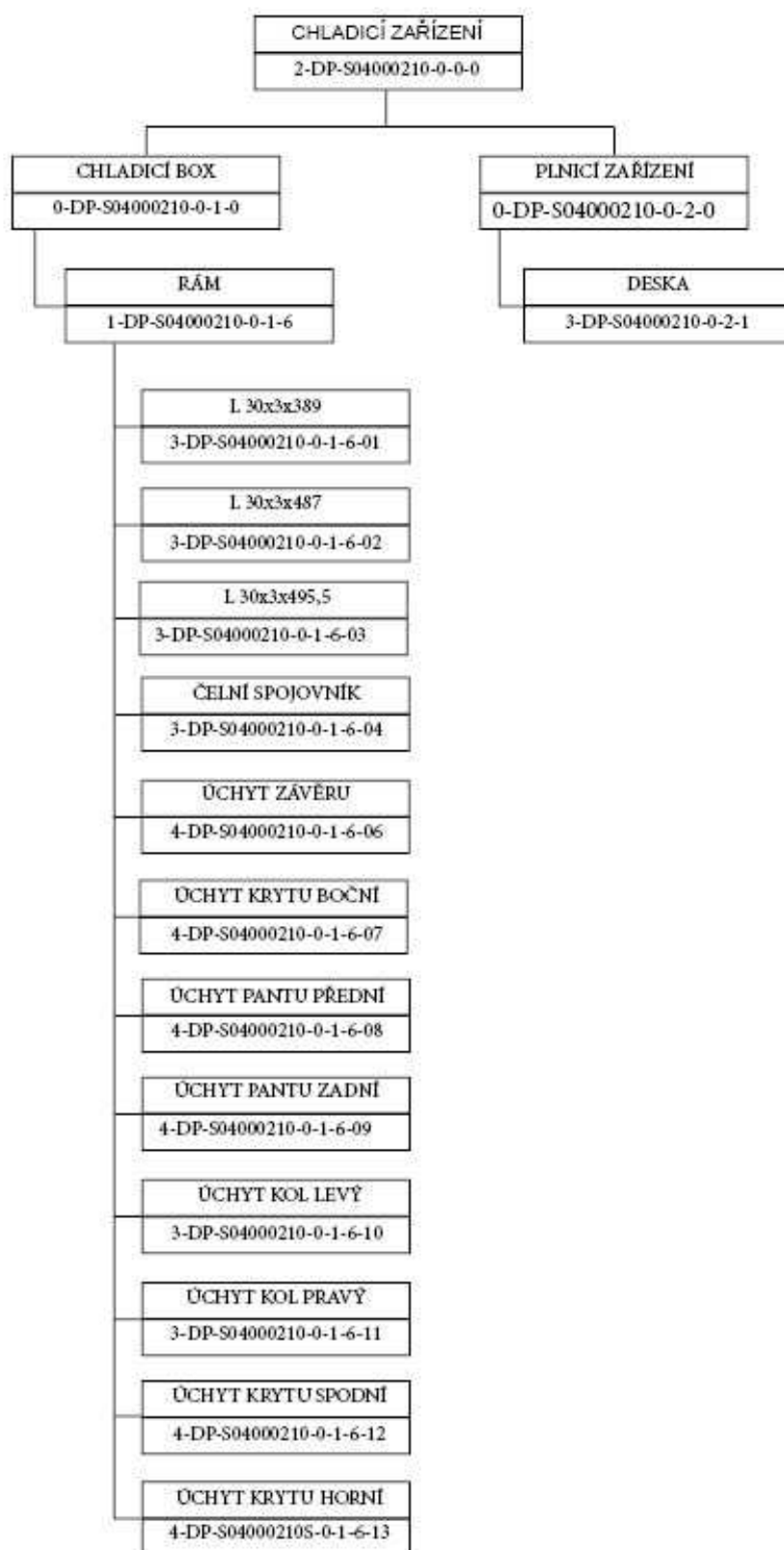
Párové srovnání kritérií					Matice užitenosti alternativ					
poř.	název kritéria	počet voleb	pořadí významnosti	váha	hodnota X		Varianta 1		Varianta 2	
					prostá	vážená	prostá	vážená	prostá	vážená
1	zastavěný prostor	3	1	4	100	400	90	360	80	320
2	mobilita	2	2	3	100	300	90	270	0	0
3	nutnost zásahu do současné konstrukce	0	4	1	100	100	80	80	60	60
4	investiční náklady	1	3	2	100	200	70	140	50	100
Celkem						1000		850		480
užitnost						100%		85%		48%
Pořadí								1		2

3. Konstrukční řešení vybrané varianty

3.1 Popis konstrukce

Celková situace umístění chladicího boxu u nabíhací pece v pozici plnění je znázorněna na výkrese CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ. Chladicí zařízení se skládá z dvou hlavních částí, a to sice z chladicího boxu (výkres CHLADICÍ BOX) a z plnicího zařízení (výkres PLNICÍ ZAŘÍZENÍ). Konstrukce chladicího boxu se skládá z nosného rámu, do kterého jsou vlepeny pomocí tepelně odolného lepidla topné moduly a sibalová izolace. Rám chladicího boxu je svařen z profilů ze žáruvzdorné oceli 17 255, ke kterému jsou přivařeny úchyty plechových krytů a pantů. Konstrukce rámu je na výkrese RÁM. Jednotlivé úchyty jsou znázorněny v přiložených výrobních výkresech.

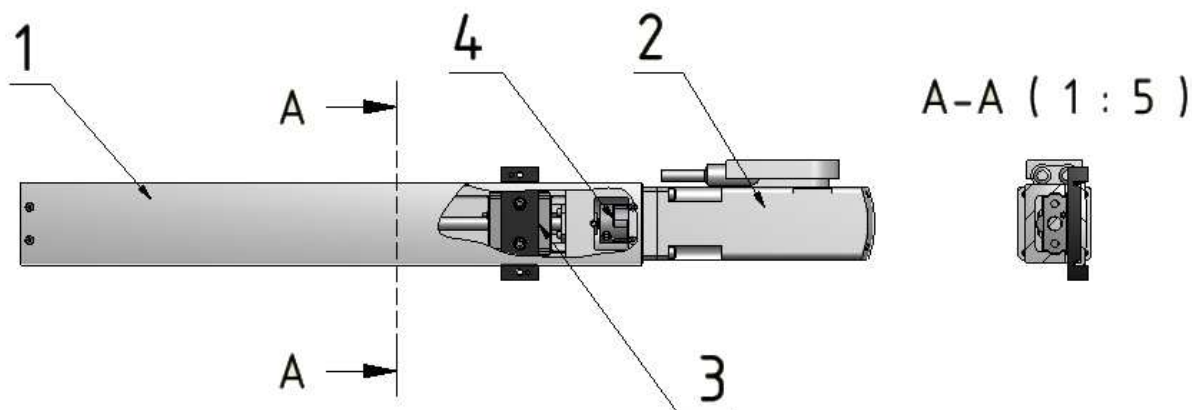
Na obr. 27 je znázorněné schéma přiložené výkresové dokumentace, které ukazuje vazby mezi jednotlivými výkresy.



Obr. 27 Schéma výkresové dokumentace

3.2 Volba Actuatoru

Pro vertikální pohyb hradítka plnicího zařízení byly vybrány elektrické saně od firmy Festo.



Obr. 28 Elektrické saně FESTO: 1) Kryt, 2) Servomotor, 3) Vozík, 4) Spojka

Jedná se o elektromechanický přímočarý pohon s vřetenem s valivým uložením matice. Katalogové číslo: EGSK-33-330-6P-S. Podrobnější popis je v Tab. 5.

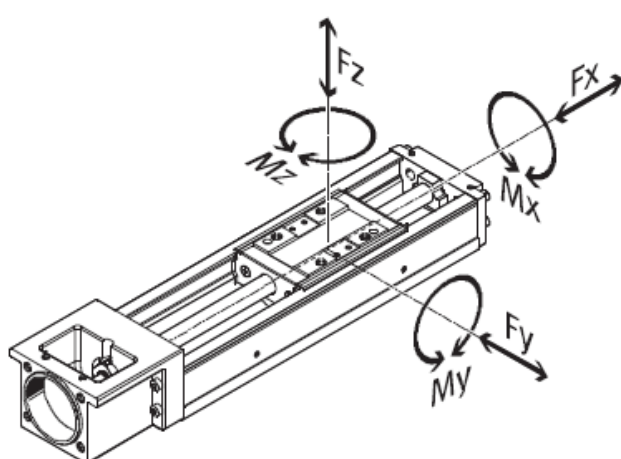
Tab. 5 Výťah z Katalogového listu Festo[6].

Parametr	Hodnoty
Pracovní zdvih	330 mm
Velikost	33
Průměr vřetene	10 mm
Montážní poloha	Libovolná
Vedení	Kuličková oběžná pouzdra
Referenční pohyb	referenční spínač
Druh vřetena	Vřeteno s uložením matice v kuličkových oběžných pouzdrech
Max. Zrychlení	$20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Max. Rychlost	$0.47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Opakovatelná přesnost	$\pm 0.01 \text{ mm}$
třída odolnosti korozi KBK	0
stupeň krytí	IP10

Pokračování tab. 5

okolní teplota	0 - 40 °C
dynamická nosnost pevného ložiska	1,790 N
kvadratický moment průřezu I_y	62,000 mm ⁴
kvadratický moment průřezu I_z	380,000 mm ⁴
max. posuvová síla F_x	150 N
moment setrvačnosti J_H na metr zdvihu	0.0766 kg·cm ²
posuvová konstanta	6 - 10 mm/U
statická nosnost pevného ložiska	2,590 N

Kontrola přípustných zatěžovacích momentů



Maximální přípustné dynamické momenty:

$$M_{x_{\max}} = 21,2 \text{ Nm}$$

$$M_{y_{\max}} = M_{z_{\max}} = 3,8 \text{ Nm}$$

Obr. 29 Zatěžovací momenty

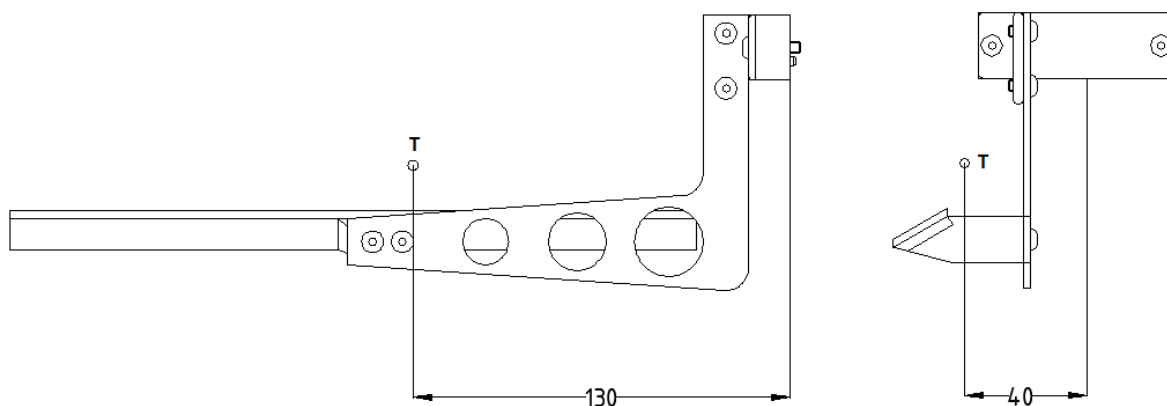
Poloha těžiště pohyblivé části:

$$z = 130 \text{ mm}$$

$$y = 40 \text{ mm}$$

Hmotnost pohyblivé části:

$$m = 400\text{g}$$



Obr. 30 Poloha těžiště pohyblivé části

Statické momenty:

$$F = m \cdot g = 0,4 \cdot 9,81 = 3,9 \text{ N}$$

$$M_z = F \cdot z = 3,9 \cdot 0,13 = 0,5 \text{ Nm}$$

$$M_y = F \cdot y = 3,9 \cdot 0,4 = 0,15 \text{ Nm}$$

Kontrola dynamických momentů:

Setrvačná síla při maximálním možném zrychlení:

$$F_s = m \cdot a_{\max} = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ N}$$

$$M_{z_{\max}} \geq F_s \cdot z \geq 8 \cdot 0,13 \geq 1,04 \text{ Nm} \dots \text{Vyhovuje}$$

$$M_{y_{\max}} \geq F_s \cdot y \geq 8 \cdot 0,4 \geq 3,2 \text{ Nm} \dots \text{Vyhovuje}$$

Volba pohonu:

Jako jeden z vhodných motorů pro pohon výše zvolených elektrických saní je dle katalogových informací FESTO servomotor EMMS-AS-55-S-TMB o výkonu 400W.

Kontrola momentů setrvačnosti:

Dáno:

$$J_A = 0,00245 \text{ kg.m}^2 \dots \dots \text{moment setrvačnosti motoru}$$

$$J_S = 0,0022 \text{ kg.m}^2 \dots \dots \text{moment setrvačnosti spojky}$$

$$J_V = 0,025 \text{ kg.m}^2 \dots \dots \text{moment setrvačnosti vřetene}$$

$$v = 0,47 \text{ m.s}^{-1} \dots \dots \text{maximální rychlost zátěže}$$

$m_Z = 0,679 \text{ kg}$ hmotnost zátěže

$n = 6600 \text{ min}^{-1}$... jmenovité otáčky motoru

Neznámé:

J_L moment setrvačnosti zátěže

ω_M úhlová rychlost motoru

$$\omega_M = 2\pi n = 2\pi \cdot \frac{6600}{60} = 691 \text{ rad/s}$$

$$J_L < 3 \cdot J_A$$

$$\frac{1}{2} J_L \cdot \omega_M^2 = \frac{1}{2} \cdot J_S \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} \cdot J_V \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} \cdot m_Z \cdot v^2$$

$$J_L = J_S + J_V + \frac{m_Z \cdot v^2}{\omega_M^2}$$

$$J_L = 0,0022 + 0,00025 + \frac{0,679 \cdot 0,47^2}{691^2}$$

$$J_L \cong 0,00245 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$0,00245 < 3 \cdot 0,00245 \text{ ... MOTOR VYHOVUJE}$$

3.3 Návrh izolace chladicího boxu

Prostup tepla stěnou chladicího boxu

Izolace se skládá ze sibalových desek o síle 70 mm, dále pak ze vzduchové mezery o síle 30 mm a ocelového plechu tloušťky 0,6 mm.

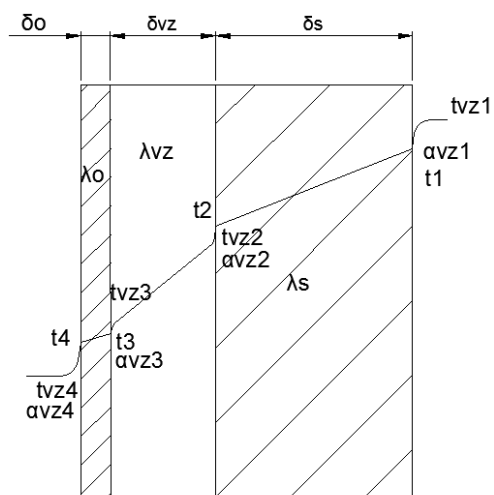
Výpočet ztrátového tepla izolovanou stěnou boxu:

Tab. 6 Hodnoty pro výpočet prostupu tepla

Teplota uvnitř boxu	$t_{vz1} = 550^\circ\text{C}$
Teplota okolního vzduchu	$t_{vz4} = 25^\circ\text{C}$
Součinitel tepelné vodivosti oceli	$\lambda_o = 47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti sibalů	$\lambda_s = 0,13 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti vzduchu	$\lambda_{vz} = 0,0262 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Tloušťka ocelového plechu	$\delta_o = 1 \text{ mm}$
Tloušťka sibalů	$\delta_s = 70 \text{ mm}$
Tloušťka vzduchové mezery	$\delta_{vz} = 30 \text{ mm}$

Počáteční teploty stěn na rozhraní jednotlivých prostředí jsou zvoleny, dále jsou pak aproximovány prostou iterací

$$t_1 = 540^{\circ}\text{C}, t_2 = 300^{\circ}\text{C}, t_3 = 90^{\circ}\text{C}, t_4 = 50^{\circ}\text{C}$$



Obr. 31 Schéma izolace

Pro výpočet součinitele prostupu tepla byly použity empirické vzorce dle [7]. Další hodnoty jsou vypočteny pomocí prosté iterace.

$$\alpha_{vz} = 2,1 + 0,083 \cdot t_{st} \quad \text{pro } t_{st} < 200^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{vz} = 7,9 + 0,054 \cdot t_{st} \quad \text{pro } t_{st} > 200^{\circ}\text{C}$$

Hodnoty součinitele přestupu tepla pro počáteční zvolené teploty t_1 až t_4 :

$$\alpha_{vz1} = 7,9 + 0,054 \cdot t_{st1} = 37,06 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{vz2} = 7,9 + 0,054 \cdot t_{st2} = 24,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{vz3} = 2,1 + 0,083 \cdot t_{st3} = 9,57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{vz4} = 2,1 + 0,083 \cdot t_{st4} = 6,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelný tok na m^2 :

$$\dot{q} = \frac{(t_{vz1} - t_{vz4})}{\frac{1}{\alpha_{vz1}} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_{vz2}} + \frac{\delta_{vz}}{\lambda_{vz}} + \frac{1}{\alpha_{vz3}} + \frac{\delta_o}{\lambda_o} + \frac{1}{\alpha_{vz4}}}$$

$$\dot{q} = \frac{550 - 25}{\frac{1}{37,06} + \frac{0,07}{0,13} + \frac{1}{24,1} + \frac{0,03}{0,0262} + \frac{1}{9,57} + \frac{0,001}{47} + \frac{1}{6,25}}$$

$$= 260,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Teploty stěn:

$$\dot{q} = \alpha_{vz4} \cdot (t_4 - t_{vz4})$$

$$\Rightarrow t_4 = t_{vz4} + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz4}} = 25 + \frac{260,35}{6,25} = 66,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{q} = \frac{\lambda_o}{\delta_o} \cdot (t_3 - t_4)$$

$$\Rightarrow t_3 = t_4 + \frac{\dot{q}}{\lambda_o} \cdot \delta_o = 66,65 + \frac{260,35}{47} \cdot 0,001 = 66,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{vz3} = t_3 + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz3}} = 66,65 + \frac{260,35}{9,57} = 93,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{vz2} = t_{vz3} + \frac{\dot{q}}{\lambda_{vz}} \cdot \delta_{vz} = 93,85 + \frac{260,35}{0,0262} \cdot 0,03 = 391,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_{vz2} + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz2}} = 391,96 + \frac{260,35}{24,1} = 402,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = t_2 + \frac{\dot{q}}{\lambda_s} \cdot \delta_s = 402,76 + \frac{260,35}{0,13} \cdot 0,07 = 542,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{vz1} = t_1 + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz1}} = 542,95 + \frac{260,35}{37,06} = 549,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tab. 7 Vypočtené hodnoty pro prvních 7 iteračních kroků

α_{vz1} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz2} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz3} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz4} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t_3 [°C]	t_4 [°C]	\dot{q} [W·m ⁻²]
37,06	24,1	9,57	6,25	540	300	90	50	260,35
37,22	29,65	7,63	7,63	542,98	402,79	66,66	66,66	261,7
37,22	29,61	7,02	7,02	542,97	402,06	59,29	59,29	258,75
37,23	29,7	7,23	7,23	543,05	403,72	61,87	61,85	259,83
37,22	29,67	7,16	7,16	543,02	403,11	60,93	60,92	259,44
37,22	29,68	7,19	7,18	543,03	403,33	61,26	61,25	259,58
37,22	29,68	7,18	7,17	543,03	403,25	61,14	61,13	259,53

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že teplota vnější stěny izolovaného boxu při daném složení izolace konverguje k hodnotě 61°C, což vyhovuje bezpečnostním požadavkům. Teplota tepelného toku konverguje na hodnotě 260 W·m⁻².

3.4 Výpočet množství tepla potřebného k ohřátí vzduchu uvnitř chladicího boxu

Objem izolované atmosféry: $V = 0,347 \cdot 0,380 \cdot 0,383 = 0,05 \text{ m}^3$

Hustota vzduchu: $\rho_{vz} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Hmotnost vzduchu: $m_{vz} = \rho_{vz} \cdot V = 0,05 \cdot 1,2 = 0,06 \text{ kg}$

Měrné teplo vzduchu: $c = 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{vz1} - t_{vz4}) = 0,06 \cdot 1000 \cdot (550 - 25) = 31,2 \text{ kJ}$$

Tepelný tok

Čas potřebný k vyhřátí boxu: $t = 600 \text{ s}$ (zvoleno)

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{1500}{600} = 52,5 \text{ W}$$

Příkon boxu

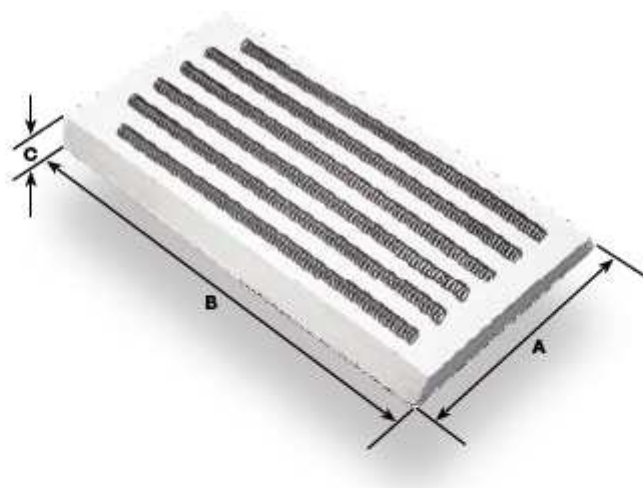
Příkon se vypočítá jako součet potřebného tepelného toku pro vyhřátí a ztrátového tepelného toku. Součet je zvětšen o 50 % z důvodu rezervy výkonu.

$$P = 1,5 \cdot (\dot{Q} + \dot{Q}_z) = 1,5 \cdot (52,5 + 390) = 663,75 \text{ W}$$

Uvedené tepelné výpočty jsou provedeny pro uzavřený box, se zakrytými vstupními otvory zadními dveřmi.

3.5 Volba topných modulů

Vytápění boxu budou zajišťovat topné moduly KANTHAL MODUTHAL. Jedná se o prefabrikované radiační topné moduly. Topné spirály jsou usazeny v panelu vyrobeném z vysoce kvalitní keramické vláknité hmoty. Pro lepší regulovatelnost teploty uvnitř zařízení jsou již panely vybaveny termočlánky.



Maximum Sizes for MODUTHAL 3000 & 6000

Roof & walls	B < 1100 mm (43.3 in.)	max A 500 mm (19.7 in.)
	B 1100 – 1400 mm (43.3–55.1 in.)	max A 350 mm (13.8 in.)
Bottom	B < 1100 mm (43.3 in.)	max A 500 mm (19.7 in.)
	B 1100 – 1500 mm (43.3–59.1 in.)	max A 400 mm (15.7 in.)

Obr. 32 Topný modul KANTHAL MODUTHAL[8]

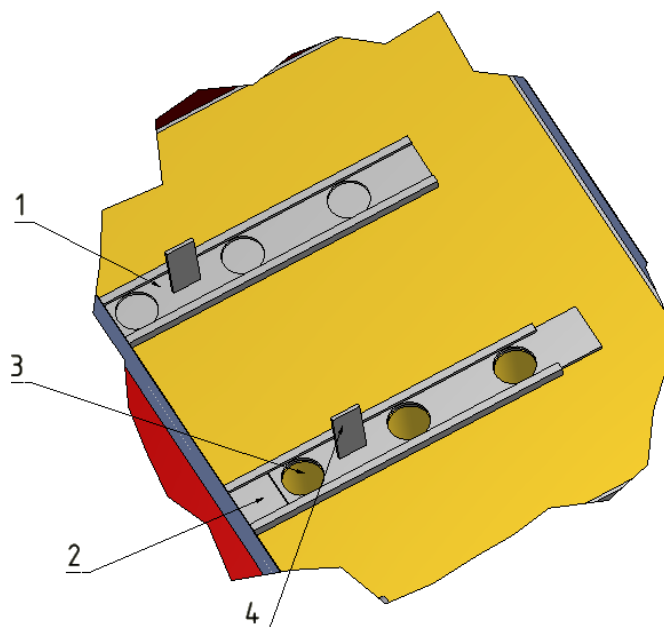
3.6 Regulace teploty

Regulace teploty uvnitř boxu bude zajištěna pomocí regulátoru RODE TC 507. Jedná se o 30-ti rampový regulátor.

Tab. 8 Technická data regulátoru RODE TC 507[9]

Rozsah regulace	0-1320 °C v 1 krocích
Doba náběhu	0:00 - 99:59 h
Rampy	30
Rychlost výhřevu	1-999°C · h ⁻¹
Bod přepnutí	20 - 1320 °C
Výdrž	0:00 - 99:59 h
Rychlost chlazení	0:00 - 999°C · h ⁻¹
Rozměry (š x d x v)	110 x 220 x 60
Hmotnost	1100 g

Odvětrávání boxu je zajištěno otvory v horní části boxu, pomocí ručně ovládaných klapek. Klapky jsou přilepeny k sibalové izolaci teplotně odolným lepidlem. V místech větracích otvorů je plechový plášť boxu perforován velkým množstvím otvorů tak, aby horký vzduch mohl bez problémů odcházet.



Obr. 33 Větrací klapky 1) Zavřená klapka, 2) Otevřená klapka, 3) Větrací otvory, 4) Šoupátko klapky

4. Zhodnocení přínosu a využitelnosti navrženého řešení

4.1 Přínos řešení

Lze předpokládat, že navržený způsob chlazení polotovarů bude splňovat níže uvedené požadavky:

- Chlazení polotovarů bude probíhat podle navrženého chladicího postupu;
- Chlazení bude probíhat přímo v prostorech, kde jsou nainstalované nabíhací pece;
- Proces chlazení bezprostředně navazuje na operaci nabíhání barev;
- Odpadne manipulace s polotovary k pásovým chladícím pecím, které jsou v jiné části závodu;
- Navržené chladicí zařízení je mobilní, může být tedy použito u kterékoliv nabíhací pece vybavené plnicím zařízením, případně odstaveno na vhodném místě.

Náklady:

K zajištění kontinuálního chlazení u jedné nabíhací pece je potřeba čtyř chladicích boxů a jednoho plnicího zařízení.

Odhadované náklady na výrobu boxu – 50 000 Kč

Odhadované náklady na výrobu plnicího zařízení 60 000 Kč

Celkové odhadované náklady **260 000 Kč**

4.2 Využitelnost navrženého řešení

Chladicí zařízení je možné využívat způsobem podrobně charakterizovaným ve výše uvedených kapitolách. Před zavedením chladicího zařízení do procesu výroby sklářských polotovarů je doporučeno vyrobit prototyp chladicího boxu a zkušebním provozem ověřit schopnost dodržet teplotní režim zvolené chladicí křivky v celém vnitřním prostoru boxu a případně dalšími konstrukčními úpravami zajistit lepší regulovatelnost a homogenitu teplotního pole uvnitř boxu.

Závěr

Předložená diplomová práce obsahuje komplexní řešení chladicího zařízení na řízené ochlazování skleněných polotovarů, jehož součástí je i manipulační zařízení, které zajišťuje dopravu mezi výstupem nabíhací pece a vstupem do chladicího boxu.

V úvodní části byl proveden rozbor současného stavu s popisem současného způsobu chlazení polotovarů a byla vypočtena chladicí křivka, podle které je potřeba dané skleněné polotovary chladit. Na základě těchto informací byly stanoveny technické podmínky a požadavky na chladicí zařízení.

Dále byly zpracovány dvě alternativní varianty možného chladicího zařízení a na základě rozhodovacích kritérií byla zvolena vhodnější varianta. Jako vhodnější varianta byl zvolen mobilní chladicí box s vlastním vytápěním.

V poslední části diplomové práce je vybraná varianta konstrukčně zpracována do výkresové dokumentace, doplněna o potřebné tepelné a konstrukční výpočty a jsou zvoleny topné moduly a způsob regulace teploty uvnitř chladicího boxu.

Za hlavní přínos lze považovat možnost řízeně chladit skleněné polotovary v homogenním teplotním poli, přímo u nabíhacích pecí bez nutnosti složité přepravy do jiných částí závodu.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 2827/115, využívajícím účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum financovaný Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

SEZNAM LITERATURY

- [1] KOCÍK, J.; NEBŘENSKÝ, J.; FANDERLIK, I. *Barvení skla*. Praha: SNTL, 1978. 253 s.
- [2] PRECIOSA. *Barvy*. [online]. [cit. 17.1.2011]. Dostupný z:
<http://www.preciosa.com/cs/komponenty/sperkove-kameny/barvy.html>
- [3] SCHILL, F. *Chlazení skla*. Praha: Informatorium, 1993. 301 s.
ISBN 80-85427-34-6
- [4] NOVOTNÝ, V. *Vypracování chladicího postupu skleněných výrobků a kontrola jejich vychlazení*. Sklář a keramik. 35 (1985). s 106-110.
- [5] SCHILL, F.; NOVOTNÝ, V.; HRDINA, Z. *Chlazení skla a kontrola pnutí*. Praha, SNTL, 1968. 296 s.
- [6] FESTO. *Výrobky* [online]. [cit. 2.5.2011]. Dostupný z
https://www.festo.com/cms/cs_cz/9705.htm
- [7] BELDA, J. *Sklářské a keramické stroje II*. Liberec: TUL fakulta strojní, 1986. 147 s
- [8] KANTHAL. *Moduthal* [online]. [cit. 2.5.2011]. Dostupný z
<http://www.kanthal.com/Global/Downloads/Furnace%20products%20and%20heating%20systems/Heating%20modules/Moduthal%20heating%20modules/Moduthal%20heating%20modules%20ENG.pdf>
- [9] ROHDE *Regulátory pro vypalovací pece* [online] [cit. 2.5.2011]. Dostupný z
<http://www.keramickepece.cz/pdf/Rohde-regulatory.pdf>